

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ОАО
«СОЮЗВОДОКАНАЛПРОЕКТ»

_____ **И.П. АМОЧАЕВ**

«_____» _____ 2007 г.

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ООО
«Новые Трубные Технологии»

_____ **А.Ф. СТЕПЧЕНКО**

«_____» _____ 2007 г.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ
ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ,
ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.

ЧАСТЬ I МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первая редакция.

МОСКВА

2007

В разработке настоящего документа **«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ. ЧАСТЬ I. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ»** принимали участие:

✓ от ОАО «СОЮЗВОДОКАНАЛПРОЕКТ»:

Л.Г. Дерюшев, А.Ф. Шевелев, В.Е. Фонберштейн, Н.В. Савина;

✓ от ООО «Новые Трубные Технологии»:

А.Ф. Степченко, М.Ю., Р.Н. Камалов, М.Ю. Колобов, Е.В. Сидоров, И.А. Герн, Ж.В. Смирнова;

✓ от компании «TechnoBell Ltd London»:

Бранко Кнап (Branko Knap).

ООО «Новые Трубные Технологии» (ООО «НТТ») представляет настоящий документ для использования в практических целях. Данный документ является собственностью ООО «Новые Трубные Технологии», т.о. текст данного документа или его отдельные части не может быть использован для копирования, или каких-либо иных целей, а также передаваться третьим лицам без согласования с ООО «Новые Трубные Технологии».

Авторский коллектив будет признателен Вам за отзывы и предложения

ООО «Новые Трубные Технологии»

Россия, 127055, г. Москва

Тихвинский пер., д. 7, стр. 1

Тел/факс. +7 (495) 638-51-37

www.ntt.su

e-mail: info@ntt.su

Технические рекомендации (ТР) на проектирование подземных трубопроводов холодного водоснабжения и водоотведения из стеклопластиковых труб, изготовленных методом непрерывной намотки, разработаны совместно организациями ОАО «СОЮЗВОДОКАНАЛПРОЕКТ» и ООО «Новые Трубные Технологии».

Часть I включает в себя основные методические положения, Часть II – Таблицы гидравлических расчетов.

Настоящие ТР разработаны впервые.

Настоящие Технические рекомендации разработаны на основе строительных правил, санитарных норм, правил пожарной безопасности и других законодательных и нормативных документов РФ, а также на основе действующих в области проектирования стеклопластиковых труб европейских стандартов и стандартов США, и методических материалов компании «TechnoBell Ltd London».

Рекомендации предназначены для проектных организаций, выполняющих работы по проектированию подземных трубопроводов холодного водоснабжения и водоотведения из стеклопластиковых труб (далее - трубопроводов), изготавливаемых методом непрерывной намотки по технологии и на оборудовании компании «TechnoBell Ltd London». Трубопроводы рассчитаны на максимальное давление транспортируемой жидкости до 2,4 МПа включительно при траншейной прокладке.

Решение вопроса о применении данного документа при проектировании и строительстве конкретных объектов относится к компетенции заказчика, проектной или строительной организации. В случае принятия решения о применении настоящего документа при проектировании и строительстве трубопроводов из стеклопластиковых труб, все установленные в нем правила должны быть использованы.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ.....	7
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ.....	8
2.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ	8
2.2. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ	9
2.3. РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ	11
2.4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	12
2.4.1. Общие положения.....	12
2.4.2. Расчет потерь напора в напорных трубопроводах	13
2.4.3. Расчет потерь напора в самотечных трубопроводах.....	14
2.5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР.....	15
3. ПРОКЛАДКА ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ	17
3.1. ГАБАРИТЫ ТРАНШЕИ ДЛЯ УКЛАДКИ ТРУБ	17
3.2. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА	18
<i>Определение класса давления</i>	<i>19</i>
<i>Определение класса жесткости.....</i>	<i>20</i>
<i>Расчет прогиба.....</i>	<i>21</i>
<i>Определение максимально допустимой долговременной деформации</i>	<i>22</i>
<i>Схема расчета прогнозируемой деформации</i>	<i>23</i>
<i>Расчет внешних нагрузок</i>	<i>26</i>
<i>Деформация при комбинированной нагрузке.....</i>	<i>29</i>
<i>Продольная деформация</i>	<i>30</i>
<i>Расчет продольной деформации при растяжении от внутреннего давления.....</i>	<i>30</i>
<i>Продольная деформация при растяжении в результате перепада температур.....</i>	<i>31</i>
<i>Продольная деформация при растяжении в случае «моста».....</i>	<i>32</i>
<i>в местах отсутствия опор</i>	<i>32</i>
<i>Расчет на потерю устойчивости</i>	<i>32</i>
<i>Оценка воздействия грунтовых вод</i>	<i>34</i>
<i>Требования к трубопроводам в особых природных.....</i>	<i>36</i>
<i>и климатических условиях</i>	<i>36</i>
<i>Расчет ускорений сейсмического движения</i>	<i>36</i>
<i>Проверка вертикальной деформации (устойчивости) трубы при землетрясении....</i>	<i>37</i>
<i>Сейсмическая деформация грунта</i>	<i>38</i>
<i>Продольная деформация трубы при сейсмическом воздействии</i>	<i>38</i>
4. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ	38
5. КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ.....	39
5.1. ПРОХОДЫ.....	39
5.2. АНКЕРНЫЕ БЛОКИ	40
5.2.1. Гравитационные анкерные блоки.....	40
5.2.2. Реактивные анкерные блоки.....	40
5.2.3. Комбинированные анкерные блоки.....	41
5.2.4. Линейные анкерные блоки.....	41
5.3. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УСТАНОВКИ АНКЕРНЫХ БЛОКОВ	42
5.4. РАСЧЕТ АНКЕРНЫХ БЛОКОВ.....	43

<i>Пассивная реакция грунта</i>	<i>43</i>
<i>Расчет воздействий на анкерные блоки.....</i>	<i>43</i>
<i>Оценка силы трения бетон/грунт</i>	<i>44</i>
6. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ.....	44
7. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	47
8. ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ТР	48
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	56
ПРИМЕРЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА.....	56
<i>Пример 1. Расчет напорного трубопровода.</i>	<i>56</i>
<i>Пример 2. Расчет самотечного трубопровода.</i>	<i>57</i>
ПРИМЕР ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА.....	58
ПРИМЕР РАСЧЕТА АНКЕРНОГО БЛОКА	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	71
КОЛОДЦЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ ТРУБЫ	
«НТТ-П/АСВ»	71
1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	74
2. НАРУЖНЫЕ СЕТИ КАНАЛИЗАЦИИ	74
3. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ	76
4. СМЕТНАЯ ЧАСТЬ	82
5. УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ	83

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Технические Рекомендации распространяются на проектирование и строительство подземных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения из стеклопластиковых труб, изготовленных по технологии и на оборудовании компании TechnoBell.

Выполнение настоящих Технических Рекомендаций обеспечит соблюдение обязательных требований к наружным системам водоснабжения и канализации, установленных действующими СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», СНиП 3.05.04-85* «Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации», СП 40-104-2001 «Проектирование и монтаж подземных трубопроводов водоснабжения из стеклопластиковых труб», СП 40-105-2001 «Проектирование и монтаж подземных трубопроводов канализации из стеклопластиковых труб» и СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования».

Рекомендации содержат технические требования, предъявляемые к стеклопластиковым трубам, изготавливаемым методом непрерывной намотки, выбор типоразмеров труб для безнапорных и напорных трубопроводов при подземной прокладке в грунте с учетом требований прочности, предъявляемых к инженерным сетям. В них приведены методики гидравлического расчета трубопроводов, расчеты по определению внешних нагрузок, проектирование трубопроводов в особых условиях эксплуатации и др.

Расчеты при проектировании подземного трубопровода из стеклопластиковых труб, изготовленных по технологии непрерывной намотки, выполняются, в основном, в соответствии с рекомендациями стандарта «AWWA Manual M45» – «Проектирование стеклопластиковой трубы» («Руководство M45»).

Перечень разрешенных к транспортированию жидкостей приведен в Приложении 3

Диапазон температур транспортируемой жидкости: от $t^0 = -40^{\circ}\text{C}$ до $t^0 = +40^{\circ}\text{C}$.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

При проектировании трубопроводов, кроме настоящих Технических Рекомендаций, следует руководствоваться требованиями СНиП 2.04.02-84, СНиП 2.04.03-85, СНиП 3.05.04, СП 40-104-2001, СП 40-105-2001, и СП 40-102-2000.

Выбор диаметра, толщины стенки труб, классов рабочего давления и жесткости должен осуществляться с учетом требований потребителя по пропускной способности и результатов прочностного расчета подземных трубопроводов по предельным состояниям.

2.1. Технические требования

2.1.1. Трубопроводы, изготовленные из стеклопластика, применяемые при строительстве наружных систем водоснабжения и водоотведения, должны обладать:

- ремонтпригодностью при любых видах отказов;
- сроком службы - не менее 50 лет (при условии соблюдения необходимых требований при прокладке и эксплуатации трубопровода);
- работоспособностью в условиях, при которых максимальная температура окружающей и транспортируемой среды не превышает $+40^{\circ}\text{C}$ (либо $+90^{\circ}\text{C}$ для труб специального исполнения), а минимальная – -40°C ;
- прочностью, необходимой для работоспособности трубопровода при статических и динамических воздействиях от внешних сил и внутреннего давления.

Все трубы и фитинги, изготовленные по технологии непрерывной намотки, должны иметь гладкие внутренние поверхности, нулевое водопоглощение, высокую стойкость к различным видам коррозии и образованию отложений.

2.1.2. Сырьевыми компонентами материала труб являются ненасыщенные полиэфирные смолы, различные виды стекловолокна и кварцевый песок. Поставляются трубы стандартной длиной 12 м, а по заказу потребителя – от 2 м до 18 м. Номенклатура продукции полностью представлена в Технических условиях.

2.1.3 Основные физико-механические показатели материала труб, изготовленных в соответствии с Техническими условиями, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические показатели

	Характеристика	Значение	Ед. измерен.
1	Допустимое напряжение при растяжении в окружном направлении	12,5 ÷ 62,5	Н/мм ²
2	Допустимое напряжение при растяжении в осевом направлении	7,5 ÷ 15,0	Н/мм ²
3	Допустимое напряжение при изгибе в окружном направлении	12,5 ÷ 62,5	Н/мм ²
4	Допустимый окружной модуль упругости на растяжение	5 000 ÷ 25 000	Н/мм ²
5	Допустимый осевой модуль упругости на растяжение	3 000 ÷ 6 000	Н/мм ²
6	Допустимый окружной модуль упругости на изгиб	5 000 ÷ 25 000	Н/мм ²
7	Допустимая деформация	0,0025	мм/мм
8	Коэффициент линейного термического расширения	2,5·10 ⁻⁵	1/°С
9	Коэффициент Пуассона окружность/ось, ν_{hl}	0,08 ÷ 0,10	-
10	Коэффициент Пуассона ось/окружность, ν_{lh}	0,23 ÷ 0,25	-
11	Удельный вес – труба ламинат	1 850	кг/м ³
12	Удельный вес – фитинг ламинат	1 650	кг/м ³
13	Соотношение «Смола / Стекло / Песок» (по весу)	34÷35% / 12 ÷66% / 0÷54%	
14	Соотношение «Смола / Стекло» (по весу)	40 / 60%	
15	Электропроводимость (стандартная труба)	10 ⁹	М Ом/м
16	Электропроводимость (проводящая труба)	< 10 ⁵	Ом/м

Методы испытаний, геометрические, весовые параметры труб и соединительных элементов приведены в Технических условиях .

2.2. Виды соединений

2.2.1. Соединение стеклопластиковых труб осуществляется с соблюдением требований СП 40-102-2000 «Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования».

2.2.2 Трубы и фасонные детали могут иметь муфтовые, фланцевые, ламинированные (клеевые) и механические (ремонтные) соединения.

2.2.3. Трубы и фасонные детали поставляются комплектно с муфтами и эластомерными уплотнителями REKA EPDM единого с трубной продукцией срока службы (см. п.п. 15, 16 «Нормативных ссылок», далее – «Технические условия»), либо с фланцами на концах. Фитинги (отводы, тройники, переходники и т.д.) изготавливаются из отрезков трубы соответствующего диаметра в соответствии со спецификацией.

Муфтовые соединения

2.2.4 Трубы и фитинги обычно соединяются с помощью муфт, изготовленных из отрезков труб. Трубы и муфты могут поставляться отдельно, либо с установленной муфтой на одном конце трубы. Для уплотнения, в корпусе муфты используются эластомерные уплотнители REKA EPDM.

Эскиз муфтового соединения приведен на рис.1

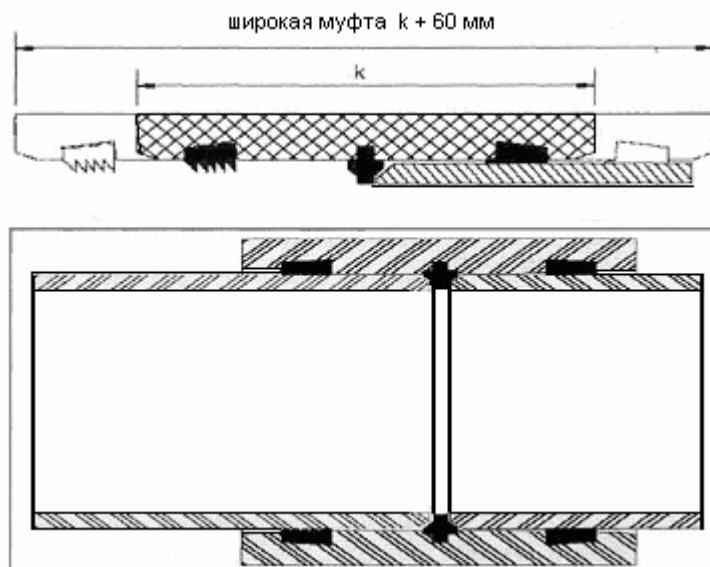


Рис. 1
Муфтовое соединение

2.2.5. Муфтовое соединение допускает незначительное осевое смещение труб, угол отклонения зависит от номинального диаметра трубы. Смещение трубы должно оставаться в пределах, предусмотренных изготовителем труб, как показано в таблице 2.

Таблица 2

Номинальный диаметр ND, мм	300-600	700-800	900-1000	1100-1300	1400-1600	1700-2400
Угол отклонения, град.	3	2,5	2	1,5	1,25	1

Фланцевые соединения

2.2.6. Фланцы (фиксированные и с накладным кольцом) стеклопластиковых труб, имеющие соответствующие соединительные элементы, применяются для соединения с трубами и фасонными деталями, изготовленными из других материалов (сталь, чугун, полиэтилен) или запорно-регулирующей арматурой. Эскиз фиксированного фланцевого соединения представлен на рис.2.

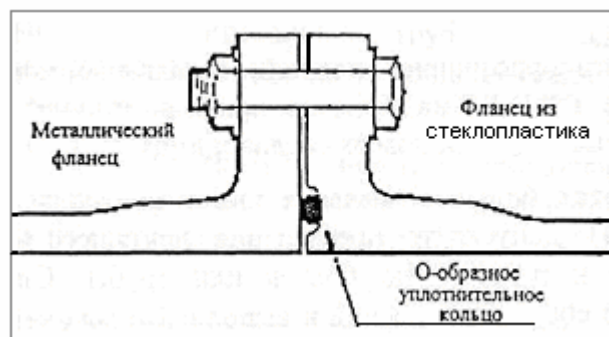


Рис. 2
Эскиз фиксированного фланцевого соединения

2.2.7 Элементы фланцевого соединения формуется в специальном приспособлении на конце отрезка трубы. Затем для фиксированного фланца (в соответствии с ГОСТом) сверлятся

отверстия для соединительных болтов. Для фланца с накидным кольцом на конец трубы с отформованным под фланец буртом надевается свободный фланец, изготовленный из чугуна или высококачественной стали (по ГОСТ). Между соединяемыми элементами вкладывается уплотнитель REKA EPDM, после чего фланцевое соединение фиксируется болтами.

Клеевые соединения (ламинированные соединения)

2.2.8 Клеевые соединения обычно применяются в тех случаях, когда стыки подвергаются внутренним осевым нагрузкам, в случаях ремонта, а также когда по технологическим соображениям (например, при санации трубопроводов) нельзя использовать муфтовое соединение. Место соединения (повреждения) обрабатывается в соответствии с инструкцией по ламинированию. Полимеризация и отверждение соединения происходит не более чем за 8 часов. Эскиз ламинированного соединения представлен на рис.3.

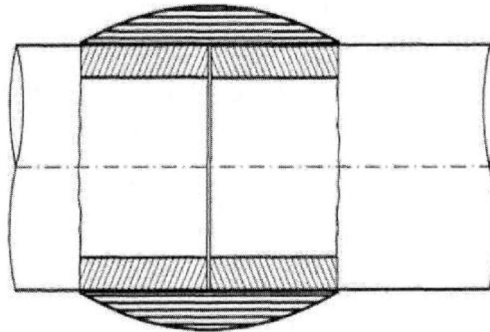


Рис. 3

Эскиз ламинированного соединения.

2.3. Ремонт трубопроводов из стеклопластиковых труб

2.3.1 Поврежденный участок на трубопроводе можно восстановить, кроме варианта использования ламинированного соединения, с помощью ремонтных подвижных муфт. Эскиз ремонтной муфты показан на рис. 4.

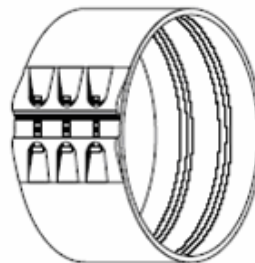


Рис. 4

Ремонтная муфта.

2.3.2 Восстановление с помощью подвижных муфт осуществляется в следующей последовательности. Сегмент трубопровода с поврежденным участком перекрывается, и поврежденный участок трубы вырезается и удаляется. Затем готовится новый отрезок трубы. На соединяемые участки трубопровода надвигаются муфты. Соединяемые концы труб

зачищаются, между ними вставляется подготовленный новый отрезок трубы, обеспечивается соосность труб и осуществляется их фиксация. Затем подвижные муфты перемещаются на стыки труб. Соединение труб обеспечивается путем затяжки болтов на муфтах, герметичность трубопровода достигается за счет использования прокладок REKA EPDM.

2.4. Гидравлический расчет

2.4.1. Общие положения

2.4.1.1 Гидравлический расчет выполняется для определения параметров работы трубопровода из стеклопластиковых труб. При этом необходимо знать расходы, жидкостей, транспортируемых по трубопроводу, и соответствующие им потери напора.

Результаты гидравлического расчета (потери напора, скорость потока при заданных Q и d), в совокупности с результатами прочностных расчетов трубопровода, служат обоснованием решения по выбору проектных параметров трубопровода, в частности, типа и марки труб из списка номенклатуры продукции завода-изготовителя (см. Технические условия).

2.4.1.2. Основной формулой, охватывающей случаи напорного и безнапорного движения жидкостей в трубах, является формула для определения скорости жидкости:

$$V=C \sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

где:

- V - средняя по сечению скорость, м/с;
- C - коэффициент Шези;
- R - гидравлический радиус, м;
- i - гидравлический уклон, м/м.

2.4.1.3 Коэффициент Шези (C) может быть вычислен по формуле Н.Н. Павловского:

$$C=\frac{1}{n} R^y, \quad (2)$$

где:

$$y = 2,5 \sqrt{n} - 13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 1);$$

n –коэффициент шероховатости труб, б/р, который принимается по таблицам справочной и учебной литературы (n = 0,01– для гидравлически гладкой или стеклопластиковой трубы);

$R = \frac{\omega}{\chi}$ - гидравлический радиус, м;

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \left(\frac{\beta}{180^\circ} - \frac{\sin^2 \beta}{2} \right) - \text{площадь живого сечения потока, м}^2;$$

β - центральный угол в трубе, град., соответствующий расчетному наполнению, град, схематично изображен на рис.5.;

$$\chi = \pi d_{\text{вн}} \frac{\beta}{180^\circ} - \text{смоченный периметр, м};$$

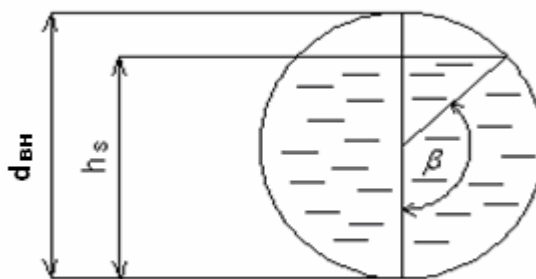


Рис.5.

На рис.5: $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы, h_s – высота потока транспортируемой жидкости (наполнение).

2.4.2. Расчет потерь напора в напорных трубопроводах

2.4.2.1 Потери напора h , м водяного столба, по длине трубопровода определяются по формуле (см. СНиП 2.04.02 и СП 40-102):

$$h = L \cdot i + \frac{V^2}{2g} \sum_1^j \xi_j + H_{\Gamma}, \quad (3)$$

при практических расчетах

$$h = L \cdot i \cdot k_{мс}, \quad (3a)$$

где:

- L – длина трубопровода, м;
- V – средняя по сечению скорость движения воды, м/с;
- g – ускорение свободного падения, м/с²;
- i – гидравлический уклон, м/м;
- ξ – коэффициент местного сопротивления;
- j – вид местного сопротивления;
- $k_{мс} = 1,1$ – коэффициент, б/р, учитывающий потери напора на местные сопротивления (10%) в длинных трубопроводах, и $k_{мс} = 1,2$ – (20%) для трубопроводов длиной до 100 м;
- H_{Γ} – геометрический напор (потери напора, вызванные разностью высот на отметках по трассе трубопровода), м.

2.4.2.2 В самом первом приближении потери напора можно определять по номограммам для стеклопластиковых труб, приведенным в Приложении 1.

2.4.2.3 Гидравлический уклон (потери напора на единицу длины трубопровода) определяется по формуле:

$$i = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (4)$$

где:

- $\lambda = \frac{8 \cdot g}{C}$ – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине, в гладкостенной области турбулентного потока λ зависит только от числа Рейнольдса Re ;

$$Re = \frac{V \cdot d_{вн}}{\nu};$$

ν - коэффициент кинематической вязкости, для воды $\nu = 1,3 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
 $d_{вн}$ - расчетный (внутренний) диаметр трубы, м;

2.4.2.4 Значения расчетного (внутреннего) диаметра следует принимать по имеющимся у завода-изготовителя данным, в соответствии с номенклатурой выпускаемой продукции. При этом следует иметь в виду, что благодаря конструктивным особенностям стеклопластиковой трубы, для одного и того же номинального диаметра DN внутренние диаметры $d_{1вн}$, $d_{2вн}$... $d_{jвн}$ труб различны (в зависимости от PN и SN).

2.4.2.5 Для стеклопластиковой трубы, как гидравлически гладкой ($n = 0,01$), значения гидравлического уклона i^* , определяются по формуле, приведенной в указанном ниже Справочном пособии «Таблицы для гидравлических расчетов водопроводных труб» Ф.А.Шевелева, А.Ф.Шевелева:

$$i^* = 0,000685 \frac{V^{1,774}}{d^{1,226}}, \quad (5)$$

где d – внутренний диаметр, м,
 V – средняя скорость потока, м/с,

либо определяются по материалам Части II настоящих ТР, «Таблицы для гидравлических расчетов»).

2.4.2.6 Максимально допустимая скорость движения чистой жидкости $V_{\text{макс}}$ в стеклопластиковых трубах, изготовленных по технологии непрерывной намотки, определяется по формуле (AWWA Manual M45):

$$V_{\text{макс}} = \frac{40}{\sqrt[3]{\rho}}, \text{ м/с}, \quad (6)$$

где ρ - плотность жидкости, кг/м^3 .

Для природной чистой воды скорость движения в трубопроводе принимают в пределах: $V_{\text{макс}} \leq 4 \text{ м/с}$. Для жидкостей агрессивных или с абразивной примесью максимальную скорость движения $V_{\text{макс}}^{\text{агр}}$ определяют по формуле: $V_{\text{макс}}^{\text{агр}} \leq \frac{1}{2} V_{\text{макс}}$, м/с.

2.4.3. Расчет потерь напора в самотечных трубопроводах

2.4.3.1 Потери напора на участке самотечного трубопровода оцениваются аналогично выше приведенному методу. Расчет производится из условия равномерного движения жидкости в трубах по формуле (см. СНиП 2.04.03 и СП 40-102):

$$Q = \omega V, \quad (7)$$

где:
 Q - расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \left(\frac{\beta}{180^\circ} - \frac{\sin^2 \beta}{2} \right) - \text{площадь живого сечения потока, м}^2, \text{ см. рис.5;}$$

V - средняя по сечению скорость течения, м/с.

2.4.3.2 Минимальная скорость безнапорного потока сточной жидкости $V_{\text{мин}}$ при расчетном наполнении $h_s/d_{\text{вн}}$ (см. рис5) в стеклопластиковых трубах принимается в пределах, указанных в таблице 3, где h_s – высота заполнения трубы стоками, мм, $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, мм (СНиП 2.04.03):

Таблица 3

$d_{\text{вн}}$, мм	300-400	450-500	600-800	900-1200	1300-1500	>1500
$h_s/d_{\text{вн}}$	0,7	0,75	0,8	0,8	0,8	0,8
$V_{\text{мин}}$, м/с	0,80	0,90	1,00	1,15	1,30	1,50

Скорость $V_{\text{мин}}$ назначается по условию предотвращения выпадения осадка в безнапорном трубопроводе.

2.4.3.3 Гидравлический уклон i допускается определять по формуле (СНиП 2.04.03)

$$i = \frac{\lambda \cdot V^2}{8R \cdot g}, \quad (8)$$

где:

R - гидравлический радиус, см;

λ - коэффициент сопротивления трению по длине, определяемый по формуле, учитывающей различную степень турбулентности потока (СНиП 2.04.03):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta}{13,68R} + \frac{a_2}{\text{Re}} \right), \quad (9)$$

где:

Δ - эквивалентная шероховатость, см;

a_2 – коэффициент, учитывающий характер шероховатости внутренней поверхности трубы.

Для большинства труб, за исключением стеклопластиковых, значения Δ и a_2 принимаются по таблице 15 СНиП 2.04.03. Если принять, как отмечалось выше, коэффициент шероховатости гидравлически гладких труб $n = 0,01$, тогда значения гидравлического уклона i^* для стеклопластиковых труб, можно определить по таблицам, приведенным в Части II настоящих ТР, рассчитанным по формулам (1) и (7).

2.5. Гидравлический удар

2.5.1 Гидравлический удар или мгновенное повышение давления вследствие внезапного изменения скорости движения жидкости в трубопроводе, вызывает повышение напряжений в материале труб. Гидравлический удар в стеклопластиковых трубопроводах в 2÷3 раза слабее по

сравнению со стальными, чугунными или железобетонными трубопроводами благодаря более низкому модулю упругости стенки стеклопластиковой трубы и относительно высокой степени удлинения.

2.5.2 Повышение давления при гидравлическом ударе Δh , м водяного столба, оценивается по формуле Н.Е. Жуковского:

$$\Delta h = \frac{aV}{g}, \quad (10)$$

где:

V - первоначальная скорость движения воды в трубопроводе, т.е. до нарушения сплошности потока м/с;

a - скорость распространения ударной волны в трубопроводе, м/с.

2.5.3 Скорость распространения ударной волны зависит от упругих свойств материала трубы, отношения толщины ее стенок δ к диаметру d , модуля объемной упругости жидкости $E_{ж}$ и оценивается по формуле Н.Е. Жуковского:

$$a = \sqrt{\frac{g \times E_{ж}}{\gamma(1 + \frac{d_{вн} \times E_{ж}}{\delta \times E_H})}} = \frac{C_{зв}}{\sqrt{1 + \frac{d_{вн}}{\delta} \times \frac{E_{ж}}{E_H}}}, \quad (11)$$

где:

$d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы, м;

δ – толщина стенки какой-либо трубы, м, для стеклопластиковой трубы $\delta = \delta_{сс}$ ($\delta_{сс}$ – толщина структурного слоя стенки трубы);

$E_{ж}$ – модуль объемной упругости жидкости, кг/м²;

E_H – окружной модуль упругости на растяжение материала стенки трубы, кг/м²;

γ – объемный вес жидкости, кг/м³;

$C_{зв}$ – скорость звука в воде, м/с (≈ 1420 м/с).

2.5.4 Повышение давления при гидравлическом ударе ΔP (измеряемое в МПа) определяется по формуле

$$\Delta P = (\Delta h \times \rho \times g), \quad (12)$$

где:

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

2.5.5 В соответствии со стандартом AWWA Manual M45 класс давления (или номинальное давление) PN может быть увеличен на 40%, по сравнению с результирующим давлением (т.е. с суммой рабочего давления и давления гидравлического удара):

$$PN \geq 1,4 ((\Delta h \cdot \rho \cdot g) + P_p) \geq 1,4 (\Delta P + P_p), \quad (13)$$

где:

P_p – рабочее давление жидкости в трубопроводе, МПа;

Δh - повышение давления при гидравлическом ударе, м водяного столба;

Допустимый скачок давления от гидравлического удара не может быть более 40% от номинального давления PN.

В Приложении 2 настоящих ТР приведены примеры гидравлического расчета трубопроводов.

3. Прокладка трубопроводов из стеклопластиковых труб

3.1. Габариты траншеи для укладки труб

3.1.1 Габариты траншеи для укладки труб определяются в соответствии с действующими нормативными документами: СНиП 2.04.02-84, СНиП 2.04.03-85*, СНиП 3.02.01-87, СП 40-104-2001, СП 40-105-2001, СП 40-102-2000 и настоящими Техническими Рекомендациями. Принимая во внимание влияние вида грунта и материала засыпки на прочность трубопровода, следует до начала проектных работ произвести геолого-разведочные изыскания по трассе трубопровода. При этом необходимо определить уровень грунтовых вод, класс (или категорию) грунта, залегающего по трассе трубопровода (природного грунта), а также класс и структуру грунта (грунтов) для обратной засыпки траншеи. На рис.6 показана схема укладки трубопровода в грунт.

3.1.2 После разрытия и зачистки траншеи на ее дне устраивается песчаная подушка, на которую укладываются трубы, с фиксацией положения стыков с помощью профилированных опор. Вручную или с помощью простейших механизмов и приспособлений трубы соединяются, и подготовленный участок трубопровода на $0,7 d_n$ присыпается песчаным грунтом, где d_n – наружный диаметр трубы. Вторичная засыпка осуществляется песчаным грунтом на 15 см выше верха трубы. Каждый слой грунта уплотняется. Вид грунта и степень его уплотнения обуславливают устойчивость трубопровода к деформации при статических и динамических нагрузках.

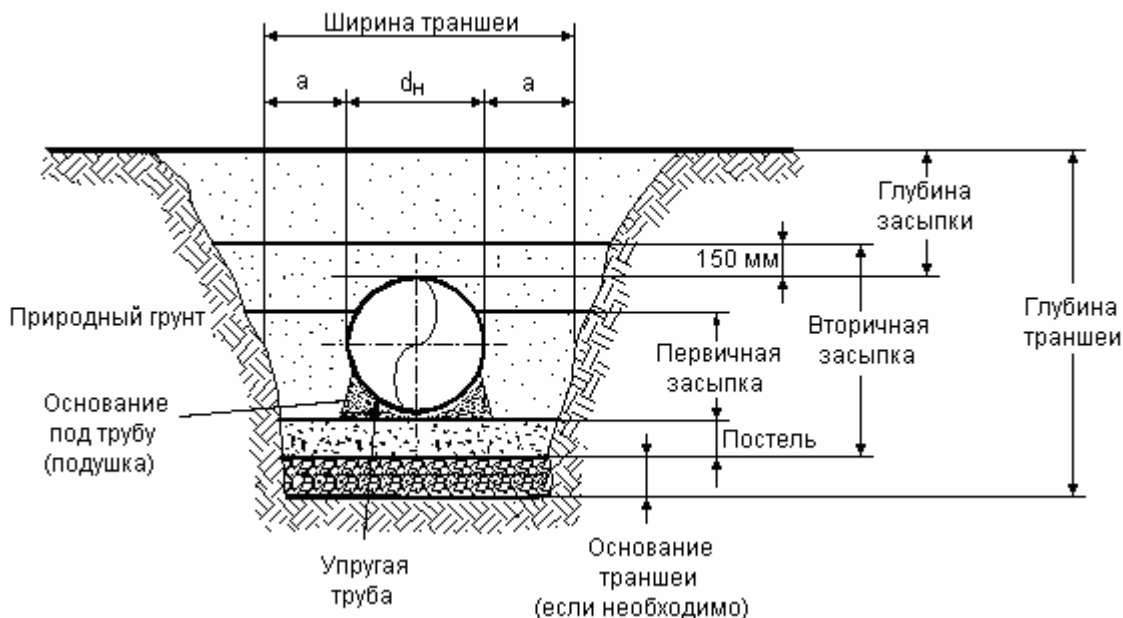


Рис. 6 Общая схема укладки трубопровода.

Минимальные размеры: $a = 60$ см, постель = 15 см, первичная засыпка = 0,7 ND
(ND – номинальный диаметр, здесь – наружный диаметр)

3.2. Расчетные параметры подземного трубопровода

3.2.1 Процедуры, применяемые при проектировании подземного трубопровода из стеклопластиковых труб, изготовленных по технологии непрерывной намотки, позволяют выбрать параметры и произвести расчет трубопровода с использованием формул, приведенных в настоящем разделе. Международными стандартами допускается использование процедур, основанных на напряжениях и процедур, основанных на деформациях. В настоящих Технических Рекомендациях расчетные формулы приведены для процедуры расчета, основанной на деформациях. Используемые далее формулы основываются преимущественно на материалах стандарта AWWA MANUAL M45.

3.2.2 Трубы, изготавливаемые по технологии непрерывной намотки, контролируются по следующим проектным параметрам:

- толщина стенки (включающая лайнерный, структурный и внешний слои) $\delta_{ст}$, мм;
- внутренний диаметр трубы $d_{вн}$, мм;
- наружный диаметр трубы d_n , мм;
- номинальный (условный) диаметр трубы ND, мм;
- номинальное давление (класс по давлению) PN, атм;
- номинальная жесткость (класс по жесткости) SN, Па.

3.2.3. Расчет параметров прочности подземного трубопровода производится для наиболее нагруженного участка трассы. Результаты таких расчетов служат основанием для

подтверждения или коррекции проектных решения по выбору труб по их прочности и сортаменту (номинальное давление PN, номинальная жесткость SN, номинальный диаметр DN).

Последовательность расчетов:

1. Определение класса труб по давлению (проверка внутренних давлений).
2. Определение (или задание) класса жесткости.
3. Определение деформаций трубы под воздействием нагрузки от грунта и динамической нагрузки для сопоставления ее с максимально допустимой долговременной и допустимой вертикальной деформациями.
4. Оценка устойчивости трубопровода при заданных глубинах его заложения, уровне грунтовых вод и вертикальных нагрузках.
5. Оценка работы трубопровода в особых условиях эксплуатации.

3.2.4. Оценки параметров, получение которых может быть затруднено при проведении вычислений по методике Руководства М 45, уточняются по запросу в Инженерном Центре ООО «НТТ».

Определение класса давления

3.2.5. Для стеклопластиковых (вязкоэластичных) труб под классом давления P_c (PN), (Н/мм², МПа, атм.) понимается такое внутреннее давление, которое может поддерживаться в трубопроводе на интервале времени $t \rightarrow \infty$ при заданном запасе прочности SF.

Класс давления трубы P_c определяется исходя из долговременного разрушающего давления (в течение 50 лет) с применением коэффициента безопасности (запаса прочности), равного 1,8 (в соответствии со стандартами AWWA или ASTM).

3.2.6 Класс давления должен удовлетворять следующему условию

$$P_c = \left(\frac{HDB_{def}}{SF} \right) \times \left(\frac{2E_H \times \delta_{cc}}{d_{cp}} \right) \quad (14)$$

где

HDB_{def}	- гидростатический проектный базис деформации, определяемый в результате долговременного гидростатического тестирования, мм/мм;
E_H	- окружной модуль упругости на растяжение, МПа;
δ_{cc}	- толщина структурного слоя, мм;
SF	- запас прочности, равный 1,8;
d_{cp}	- среднее значение диаметра трубы, мм, определяемое или по внутреннему диаметру как $d_{cp} = d_{вн} + 2\delta_{лс} + \delta_{cc}$, или по наружному диаметру как $d_{cp} = d_n - t_{cc}$;
$d_{вн}$	- внутренний диаметр трубы, мм;
d_n	- наружный диаметр трубы, мм;
$\delta_{лс}$	- толщина лайнерного слоя, мм.

Примечание: Если температура t^0 транспортируемой жидкости $t^0 > 40^0$ С и если агрессивность транспортируемой жидкости превышает пределы, установленные для заданного

класса трубы, то при проверке класса давления для установления значения HDB необходимо консультироваться с изготовителем.

3.2.7 Класс давления должен быть больше или равен рабочему давлению

$$P_c \geq P_p, \quad (14a)$$

и должен быть больше или равен максимальному давлению (сумме рабочего давления и давления гидравлического удара), уменьшенному на 40%:

$$P_c \geq \frac{P_p + P_\Gamma}{1,4} \quad (14б)$$

где

P_p - рабочее давление, МПа;

P_Γ - давление гидравлического удара, МПа.

Определение класса жесткости

3.2.8 Под классом жесткости стеклопластиковой трубы подразумевается поперечная жесткость трубы, то есть, способность стенок трубы выдерживать нагрузки, приводящие к деформации или сжатию трубы в плоскости, перпендикулярной оси трубы.

3.2.9 В соответствии со стандартами AWWA или ASTM (США) жесткость трубы или класс трубы по жесткости, определяемый на стенде при испытании готовой трубы, рассчитывается по формуле:

$$SN \text{ или } PS = \frac{F}{\Delta y}, \text{ Н/мм}^2, \quad (15)$$

где

F - сила, действующая на кольцо трубы единичной длины, Н/мм ;

Δy - поперечный прогиб трубы, равный 5% наружного диаметра трубы, мм.

Жесткость $\frac{F}{\Delta y}$ проверяется при проведении теста нагружения между параллельными пластинами в соответствии со стандартом ASTM D2412.

3.2.10 Номинальная жесткость SN, Па, стеклопластиковой трубы может быть также определена по формуле:

$$SN = \frac{E_H \cdot I}{d_{cp}^3} \quad (16)$$

где

E_H - окружной модуль упругости материала трубы на растяжение, Па;

d_{cp} – средний диаметр трубы, м

I - момент инерции стенки трубы, определяемый по формуле:

$$I = \frac{\delta_{cm}^3}{12}, \quad (17)$$

где

$\delta_{ст}$ - толщина стенки трубы, м.

Расчет прогиба

3.2.11 Выбор труб по результатам прочностного расчета проводится на основании статического расчета, с учетом требований СНиП 2.04.02-84 по прочности трубопровода.

Статический расчет трубопроводов проводится на воздействие расчетного внутреннего давления, нагрузок от грунта, временных и динамических нагрузок (нагрузок от транспорта), собственной массы труб и транспортируемой жидкости, атмосферного давления при образовании вакуума и внешнего гидростатического давления грунтовых вод в тех комбинациях, которые оказываются наиболее опасными для проектируемого участка трубопровода.

В расчетах должны использоваться прочностные и деформационные показатели материала, установленные изготовителем труб.

3.2.12 Трубы, укладываемые в грунте, должны быть рассчитаны на восприятие одновременного воздействия расчетного внутреннего давления и суммарной внешней нагрузки с учетом:

- глубины заложения трубопровода и типа естественного грунта;
- вида основания траншеи; уплотнения и вида грунта засыпки;
- возникновения овальности поперечного сечения труб.

3.2.13 Допустимое уменьшение вертикального диаметра стеклопластиковых труб при воздействии нагрузки должно приниматься по стандартам («Техническим условиям») изготовителя труб. В предварительных расчетах может использоваться значение до 3 % включительно.

3.2.14. В качестве временных нагрузок для трубопроводов из стеклопластиковых труб с учетом мест прокладки надлежит принимать нагрузки в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84.

Величину расчетного внутреннего давления надлежит принимать равной наибольшему по условиям эксплуатации давлению в трубопроводе (при наиболее невыгодном режиме работы), с учетом повышения давления при срабатывании противоударной арматуры.

3.2.15. При расчете трубопроводов на повышение давления при гидравлическом ударе (определенное с учетом противоударной арматуры или образования вакуума) внешние нагрузки следует принимать с учетом положений СНиП 2.04.02-84.

3.2.16. Альтернативой по использованию вышеизложенной информации о порядке расчета прочностных характеристик стеклопластиковых труб, для которых составлены настоящие Технические Рекомендации **(такие трубы изготавливаются методом**

непрерывной намотки, предусматривающим создание трехслойной конструкции стенки стеклопластиковой трубы, включающей в себя структурный (прочностной) слой, образуемый наполнителем (кварцевым песком), пропитанным полиэфирной смолой с армированием стекловолокном различных видов), могут служить методика и формулы прочностных расчетов, приведенные в AWWA MANUAL M45, которые излагаются далее.

3.2.17. Наиболее важное ограничение в целях безопасности эксплуатации заглубленного трубопровода связано с упругими характеристиками материала. Прогиб должен ограничиваться таким пределом, при котором в стенке трубы не возникает критических напряжений или деформаций.

Допустимые значения прогиба назначаются с учетом коэффициента безопасности (запаса прочности) на интервале времени $\Delta t = 50$ лет, и условия, что для стеклопластиковых труб определяется долговременная кольцевая изгибающая деформация, а не изгибающее напряжение. В данном документе расчеты основаны только на деформации в стенке трубы.

3.2.18. Уменьшение диаметра трубы по вертикали от внешних нагрузок Δy , %, выражается в процентном отношении к его первоначальному диаметру. Значение Δy не должно превышать 5% , по условию сохранения площади поперечного сечения трубы (при прогибе, равном 5%, сечение трубы уменьшается приблизительно на 0,25%).

Определение максимально допустимой долговременной деформации

3.2.19 Максимально допустимый долговременный вертикальный прогиб трубы, зависящий от физико-механических свойств трубы, определяется из формулы:

$$\varepsilon_b = D_f \left(\frac{\Delta y_a}{d_{cp}} \right) \times \left(\frac{\delta_o}{d_{cp}} \right) \leq \frac{S_b}{FS} \quad (18)$$

где

Δy_a - максимально допустимый долговременный вертикальный прогиб, мм,

$$\Delta y_a = \left(\frac{S_b}{FS} \right) \times \left(\frac{d_{cp}}{t_o} \right) \times \left(\frac{d_{cp}}{D_f} \right) \quad (18a)$$

ε_b - максимальная окружная изгибная деформация, вызванная прогибом, мм/мм;

D_f - коэффициент формы, б/р, определяется из таблицы 4 в зависимости от жесткости трубы, материала засыпки и степени уплотнения материала засыпки;

δ_o - сумма толщин структурного и лайнерного слоя, мм, $\delta_o = \delta_{cc} + \delta_{lc}$;

S_b - долговременная кольцевая изгибная деформация, мм/мм;

FS - коэффициент безопасности, принимаемый здесь равным 1,5;

d_{cp} - средний диаметр трубы.

Таблица 4

Значения коэффициента формы D_f

Класс жесткости трубы, Па	Материал засыпки зоны трубы и степень уплотнения			
	Гравий		Песок	
	От рыхлого до легкого уровня утрамбовки (D-S), плотность по Проктору < 85%	От среднего до высокого уровня утрамбовки (M-H), плотность по Проктору ≥ 85%	От рыхлого до легкого уровня утрамбовки (D-S), плотность по Проктору < 85%	От среднего до высокого уровня утрамбовки (M-H), плотность по Проктору ≥ 85%
	Коэффициент формы D_f			
1 250	5.5	7.0	6.0	8.0
2 500	4.5	5.5	5.0	6.5
5 000	3.8	4.5	4.0	5.5
10 000	3.3	3.8	3.5	4.5

Схема расчета прогнозируемой деформации

3.2.20 Для расчета деформаций трубы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации трубопровода, рекомендуется использовать формулу Спенглера, по которой прогнозируемая деформация определяется из уравнения:

$$\frac{\Delta y}{d_{cp}} = \frac{(D_L \times W_{ГР} + W_{Д}) K_x}{0,149SN + 0,061E'} \times 100\% \quad (19)$$

где:

Δy - прогнозируемая деформация, мм;

d_{cp} - средний диаметр трубы, мм;

D_L - коэффициент запаздывания прогиба, б/р, позволяющий пересчитать текущую деформацию трубы в деформацию после многих лет эксплуатации; увеличение деформации со временем определяется увеличением нагрузки от грунта над трубой и уплотнением засыпки и сползанием грунта по бокам трубы (эти факторы несущественны в случае, если трубопровод проложен в относительно твердых грунтах).

Значения D_L всегда принимаются больше 1,0; при средних и высоких уровнях уплотнения засыпки D_L можно принимать ≈ 2 , при небольшом уровне уплотнения $D_L \approx 1,1?1,5$;

$W_{ГР}$ - вертикальная нагрузка от веса грунта над трубой;

$W_{Д}$ - динамическая нагрузка от транспортных средств над трассой трубопровода;

K_x - коэффициент прогиба (коэффициент постели – слоя подсыпки под трубой), б/р, принимает значения от 0,083 (при хороших условиях формирования основания под трубой) до 0,110 (при менее тщательных условиях формирования под трубой), значения K_x можно принимать из таблицы 5

Таблица 5.

Тип укладки	Коэффициент прогиба, K_x
Формованное дно траншеи с утрамбованным материалом обратной засыпки по бокам трубы; плотность по Проктору $\geq 95\%$	0,083
Утрамбованное, крупнозернистое, формованное дно траншеи, с материалом засыпки, размещаемым по бокам трубы; 70-100 % относительной плотности	0,083
Формованное дно, средний уровень утрамбовки, с материалом засыпки, размещаемым по бокам трубы; плотность по Проктору 85÷95 %	0,103
Крупнозернистое, формованное дно траншеи, слегка уплотненный материал засыпки, размещаемый по бокам трубы; 40-70 % относительной плотности	0,103
Плоское дно, с рыхлым материалом засыпки, размещаемым по бокам трубы (не рекомендуется); плотность по Проктору менее 35 %; относительная плотность менее 40 %	0,110

SN - жесткость трубы, МПа;

E' - комбинированный модуль реакции грунта, МПа, характеризует пассивное сопротивление грунта, уменьшающее деформацию трубы, зависит от типа естественного грунта, материала и степени уплотнения в зоне обратной засыпки трубы, параметров траншеи.

Значения E' определяются из формулы:

$$E' = S_c \times E'_b \quad (19a)$$

где

S_c - коэффициент комбинированной реакции грунта, б/р, определяется из Таблицы 6.

Таблица 6

E'_n/E'_b	$B_{тр}/d_H$					
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
0,1	0,15	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00
0,2	0,30	0,45	0,70	0,85	0,92	1,00
0,4	0,50	0,60	0,80	0,90	0,95	1,00
0,6	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00
0,8	0,85	0,90	0,95	0,98	1,00	1,00
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00
1,5	1,30	1,15	1,10	1,05	1,00	1,00
2,0	1,50	1,30	1,15	1,10	1,05	1,00
3,0	1,75	1,45	1,30	1,20	1,08	1,00
$\geq 5,0$	2,00	1,60	1,40	1,25	1,10	1,00

3.2.21 Для таблицы 6 значения E'_b - модуля реакции грунта в зоне засыпки трубы, МПа, определяется из Таблицы 7

Таблица 7.

Модуль реакции грунта E'_b в зоне засыпки

Тип грунта в зоне боковой засыпки	Уровень уплотнения грунта обратной засыпки в зоне трубы			
	Рыхлая земля	Легкое уплотнение, < 85% по Проктору, < 40% относ. плотности	Среднее уплотнение, 85%÷95% по Проктору, 40%÷70% относ. плотности	Высокое уплотнение, > 95% по Проктору, > 70% относ. плотности
Мелкозернистые хорошо сортированные грунты (граница текучести > 50) Грунты с пластичностью от средней до высокой	Грунты данной категории требуют специального инженерного анализа для определения требуемой плотности, уровня влажности и усилия при утрамбовке			
Мелкозернистые хорошо сортированные грунты (граница текучести > 50) Грунты с пластичностью от средней до нулевой (непластичной) с содержанием крупнозернистых частиц < 30%	0,34	1,4	2,8	6,9
Мелкозернистые грунты (граница текучести > 50) Грунты с пластичностью от средней до нулевой (непластичной) с содержанием крупнозернистых частиц > 30%	0,69	2,8	6,9	13,8
Крупнозернистые грубо сортированные грунты с мелкими частицами (более 12% мелких частиц)	0,69	2,8	6,9	13,8
Крупнозернистые грубо сортированные грунты с малым или нулевым содержанием мелких частиц (менее 12% мелких частиц)	1,4	6,9	13,8	20,7
Гранитная крошка с содержанием песка ≤ 15%, максимум 25% проходит через сито 9,5 мм и максимум 5% мелкой фракции	6,9	20,7	20,7	20,7
Точность расчета (различия между прогнозируемым и реальным средним прогибом в процентах)	± 2%	± 2%	± 1%	± 0,5%

Примечание: 1. Значения E'_b в таблице 7 применимы для засыпки глубиной менее 15 м.
2. Промежуточные значения должны интерполироваться.

3.2.22 E'_n - модуль реакции естественного грунта в зоне засыпки трубы, МПа, определяется из Таблицы 8.

Таблица 8.

Естественный грунт в исходном состоянии		E'_n
Гранулированный грунт	Связный грунт	
Очень, очень, неплотный	Очень, очень мягкий	0,35
Очень неплотный	Очень мягкий	1,38
рыхлый	Мягкий	4,83
неплотный	Средний	10,30
Слегка уплотненный	Жесткий	20,70
Уплотненный	Очень жесткий	34,50
Плотный	Твёрдый	69,00
Очень плотный	Очень твёрдый	138,00

В случае монтажа в горных породах $E'_n = 345$ МПа.

$B_{тр}$ - ширина траншеи, мм, по линии пят арки, образуемой сводом грунта над трубой.

Примечание к формуле (19): Показателем степени деформации (сжатия) – знаменателем в формуле (19) является жесткость эластичной системы, которую составляют трубопровод и грунт. Доли трубопровода (0,149SN) и грунта (0,061E') суммируются.

Жесткость трубы и грунта обычно выражаются в разных единицах, Н/м² и Н/мм². Если сравнить два значения в сопоставимых единицах, можно заметить, что жесткость грунта всегда во много раз выше, чем жесткость трубы.

Поэтому часто бывает бесполезным заказывать трубы с высокой жесткостью, для того чтобы при установке компенсировать риск плохих условий.

Более того, твердая труба всегда имеет более толстые стенки, и, следовательно, при том же сжатии имеет более высокое напряжение в стенках.

Необходимость использования жестких и очень жестких труб оправдана только в случае внутреннего вакуума и/или высокой наружной гидравлической нагрузки.

Расчет внешних нагрузок

3.2.23 При расчете подземного трубопровода по предельным состояниям должно быть удовлетворено следующее неравенство:

$$R_{рн} \leq \Phi, \quad (20)$$

где

$R_{рн}$ – расчетная нагрузка на трубопровод (усилие) в опасном его сечении, МПа;

Φ – соответствующая расчетная несущая способность, т.е. предельно допустимая нагрузка или предельно допустимое усилие, МПа.

Нагрузка от грунта

3.2.24 Трубопроводы, уложенные под городскими проездами, автомобильными и железными дорогами, а также на территории аэродромов, подвергаются, кроме нагрузки от веса грунта, действию динамической нагрузки от перемещающегося по поверхности земли транспорта. При этом следует иметь в виду, что в соответствии с СНиП 2.04.03.проходы под постоянно действующими автомобильными и железнодорожными магистралями, а также под нагружаемыми покрытиями аэродромов, предписывается прокладывать в футлярах (гильзах). В тех случаях, когда допускается раскопка траншей при пересечении трассой трубопровода

транспортных магистралей, трубы можно укладывать без защитных кожухов, при этом, если возникают затруднения при выборе или определении жесткости трубы, необходимо проконсультироваться с Инженерным Центром ООО «НТТ».

3.2.25 На рис.7 показано распределение статических и динамических нагрузок, вызывающих деформацию трубы и реакцию грунта при его сжатии.

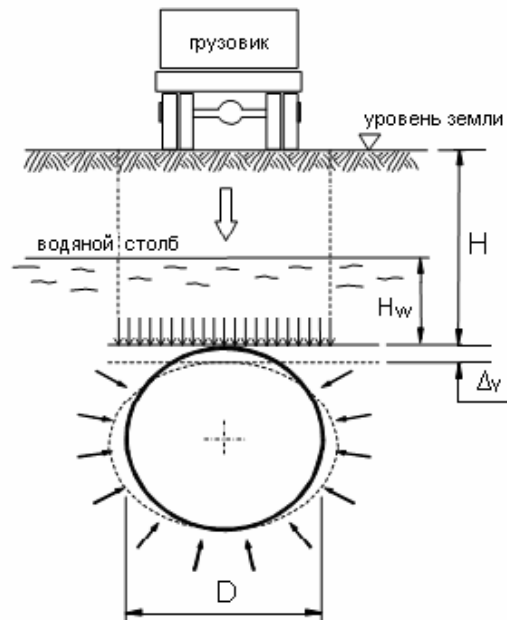


Рис.7. Нагрузки, вызывающие деформацию трубы при сжатии грунта.

3.2.26 Вертикальная нагрузка грунта на трубу определяется по формуле:

$$W_{гр} = \gamma_{гр} \times H_{гр} \times d_n \quad (21)$$

где:

$W_{гр}$ - вертикальная нагрузка на верхнюю поверхность трубопровода от грунта (вес на единицу поверхности), Н/мм

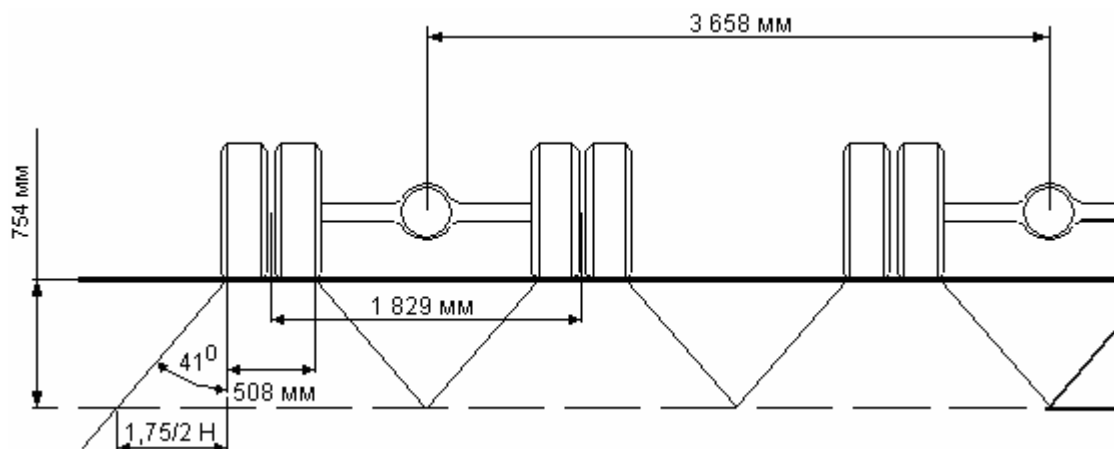
$\gamma_{гр}$ - удельный вес грунта (сухого), Н/мм³;

$H_{гр}$ - высота засыпки грунта от верха трубопровода, мм;

d_n - наружный диаметр трубы, мм.

Динамическая нагрузка

3.2.27 В соответствии с Руководством М45 динамическая нагрузка (вертикальное давление) на стеклопластиковые трубопроводы под воздействием нагрузок от транспортных средств рассчитывается с учетом рассеивания нагрузки с углом 41° от вертикального направления. При высоте засыпки менее 0,75 м. динамическая нагрузка рассчитывается для одного грузовика. При высоте засыпки более 0,75 м динамическая нагрузка рассчитывается для нескольких (более чем для одного) грузовиков, движущихся по параллельным полосам.



Общая динамическая нагрузка W_D на верхнюю поверхность трубопровода рассчитывается по формуле

$$W_D = \frac{G \cdot I_F}{L_1 \cdot L_2}, \quad (22)$$

где

G - нагрузка от одного (спаренного) колеса, Н/мм; или нагрузка от транспорта может определяться в соответствии с «Пособием по определению толщин стенок стальных труб, выбору марок, групп и категорий сталей для наружных сетей водоснабжения и канализации (к СНиП 2.04.02 и СНиП 2.04.03)».

I_F - коэффициент динамической нагрузки, $I_F = 1,1$, при $H < 0,9$ м, $I_F = 1,0$ при $H \geq 0,9$ м, (H – см. рис. 6).

L_1 - ширина зоны действия нагрузки от транспортных средств параллельно направлению движения рассчитывается по следующей формуле:

$$L_1 = l_1 + 1,75H, \quad (23)$$

где

H – высота засыпки, м (рис. 6);

l_1 - длина следа от колеса (длина грузовой площадки) в направлении движения, равна 0,25 м в соответствии с американским стандартом.

L_2 - ширина зоны действия нагрузки от транспортных средств перпендикулярно направлению движения определяется в зависимости от высоты засыпки H :

а) При $H < 0,754$ м L_2 рассчитывается по следующей формуле:

$$L_2 = l_2 + 1,75H \quad (24),$$

где

l_2 - ширина следа от колеса (ширина грузовой площадки) перпендикулярно направлению движения, равна 0,5 м в соответствии с американским стандартом.

б) При $H \geq 0,754$ м (пример для 4-х грузовиков)

При высоте засыпки $H \geq 0,756$ м общая нагрузка от 4-х грузовиков (8-колесных) распределяется по поверхности шириной L_1 , параллельно направлению движения. В направлении, перпендикулярно движению, нагрузка распределяется по поверхности шириной равной четырем грузовикам, которые перемещаются по дороге одновременно, т. е по

поверхности равной 13,31 м (3×3,658 м + 2,337 м), где 2,337 м = (1,829 м + 0,508 м) - ширина каждого грузовика, а 3,658 м – расстояние между центрами осей грузовиков.

Тогда ширина L_2 будет равна:

$$L_2 = (13,31 + 1,75H) / 8 \quad (25)$$

Примечание: габариты грузовых площадок транспорта могут меняться, однако угол рассеивания нагрузки остается неизменным, т. е. равным 41°.

Деформация при комбинированной нагрузке

3.2.28 Формула (16) позволяет рассчитать прогнозируемую деформацию трубы под воздействием внешних нагрузок (нагрузки от грунта и от транспортных средств) и сравнить ее с допустимыми значениями.

С учетом того, что в действительности деформации под действием комбинированной нагрузки (давления и внешних вертикальных нагрузок) не могут просто суммироваться (т.к. внутреннее давление приводит к восстановлению первоначальной конфигурации трубы, уменьшая овальность), при расчете деформации от комбинированной нагрузки проверяются следующие два условия:

$$\frac{\varepsilon_{\text{вд}}}{HDB_{\text{деф}}} \leq \frac{1 - \left(\frac{\varepsilon_b r_c}{S_b} \right)}{FS_{\text{вд}}} \quad (26)$$

$$\frac{\varepsilon_b r_c}{S_b} \leq \frac{1 - \left(\frac{\varepsilon_{\text{вд}}}{HDB_{\text{деф}}} \right)}{FS_b} \quad (27)$$

где

$\varepsilon_{\text{вд}}$ - расчетная деформация, вызванная внутренним давлением, мм/мм,

$$\varepsilon_{\text{вд}} = \frac{P_p \times d_{cp}}{2\delta_{cc} E_H} \quad (28)$$

где

P_p - рабочее давление, МПа,

E_H - окружной модуль упругости на растяжение, МПа;

t_{cc} - толщина структурного слоя, мм;

d_{cp} - средний диаметр трубы, мм;

$$\varepsilon_b = D_f \left(\frac{\delta d}{d_{cp}} \right) \times \left(\frac{\delta_o}{d_{cp}} \right) \quad (29)$$

где

ε_b - изгибная деформация, вызванная максимально допустимой деформацией, мм/мм;

D_f - коэффициент формы, б/р, определяется из таблицы 4 в зависимости от жесткости трубы, материала засыпки и степени уплотнения материала засыпки;

δ_o - сумма толщин структурного и лайнерного слоя, мм, $\delta_o = \delta_{cc} + \delta_{lc}$;

$\frac{\delta d}{d_{cp}}$	- максимально допустимый прогиб, мм/мм;
δd	- максимально допустимая долговременная деформация, мм.
r_c	- приводящий коэффициент, б/р, $r_c = 1 - P_p/3,00$ при $P_p \leq 3,00$ Н/мм ² ;
S_b	- долговременная кольцевая изгибная деформация, мм/мм;
$FS_{\theta\theta}$	- коэффициент безопасности по давлению, = 1,8;
FS_b	- коэффициент безопасности по изгибу, = 1,5.

Продольная деформация

3.2.29 Прежде чем окончательно определить структуру и толщину стенки трубы на основании результатов анализа воздействия прогиба и продольного изгиба, необходимо рассчитать воздействие на трубу различных продольных нагрузок.

Это необходимо потому, что продольная прочность стеклопластиковой трубы при подземном монтаже меньше прочности в кольцевом направлении. При подземной укладке трубопровода не требуется значительная прочность в осевом направлении. Для стеклопластиковых труб производства ООО «НТТ», применительно которым разработаны настоящие ТР, армирование в осевом направлении не производится. Поэтому необходимо произвести более детальный анализ для уточнения минимальной прочности структурного слоя стенки трубы и для получения гарантии того, что ожидаемая деформация или напряжение не превысят допустимую продольную деформацию или нагрузку.

Расчет продольной деформации при растяжении от внутреннего давления

3.2.30 Необходимо учитывать продольную деформацию, которая возникает в трубе, благодаря эффекту Пуассона появляется в случаях, когда цилиндр (труба или участок трубопровода) с открытыми торцами подвергается внутреннему давлению жидкости, транспортируемой по стеклопластиковому трубопроводу. В результате диаметального расширения под действием внутреннего давления цилиндр одновременно уменьшается в продольном направлении. Без учета торцевых нагрузок и других напряжений, деформация (уменьшение продольного размера трубы) от внутреннего давления в продольном направлении (эффект Пуассона) рассчитывается по следующей формуле:

$$\varepsilon_l = -\nu_{lh} \frac{P_p \cdot r_{вн}}{\delta_{cc} \times E_H} = -\nu_{lh} \varepsilon_{\theta\theta} \quad (30)$$

где:

ε_l	- продольная деформация (сокращение);
$\varepsilon_{\theta\theta}$	- окружная деформация под действием внутреннего давления (расширение);
E_H	- модуль упругости при кольцевом растяжении, Н/мм ² ;
ν_{lh}	- коэффициент Пуассона в направлении ось/окружность;
P_p	- внутреннее (рабочее) давление Н/мм ² ;
δ_{cc}	- толщин структурного слоя, мм;
$r_{вн}$	- радиус (до внутренней поверхности) трубы, мм.

Примечание: Так как стеклопластик не относится к изотропным материалам, существует два различных коэффициента Пуассона, - окружной и осевой. Значение двух коэффициентов - переменные величины и зависят от процентного содержания стекловолокон в стенке трубы и их направления. Соотношение продольной деформации к окружному напряжению составляет 0,2 – 0,3. Соотношение окружного напряжения к продольной деформации равно величине соотношения продольной деформации к окружному напряжению, умноженного на соотношение окружного напряжения к осевому модулю упругости.

3.2.31 Трение с грунтом заглубленной трубы предотвращает свободное сжатие за счет коэффициента Пуансона, что приводит к относительному продольному удлинению и растягивающему напряжению в стенке трубы, т.е. $\sigma_l = -\varepsilon_l E_l$. Также, если труба имеет свободные концы, длина отрезка трубы обычно бывает достаточной для возникновения полного продольного напряжения, как правило, довольно низкого, но которое необходимо учитывать в сумме с другими продольными напряжениями (см. ниже).

Продольная деформация при растяжении в результате перепада температур

3.2.32. Продольная деформация может возникнуть и в результате изменения температуры жидкости, транспортируемой по стеклопластиковому трубопроводу. Деформация, вызванная таким изменением температуры, приводит к возникновению условий, при которых цилиндр (труба или участок трубопровода) с открытыми торцами имеет тенденцию к смещению в продольном направлении. Такому движению трубы препятствуют окружающий грунт, и в структурном слое стенки трубы возникает растягивающее усилие.

3.2.33 Необходимо провести анализ для определения, какое из двух возможных указанных ниже условий приведет к наиболее сильной деформации трубы, на основании чего выбирается приемлемая конструкция стенки трубы.

Первое условие касается разности температур, составляющей половину разницы между максимальной $T_{\max}$ и минимальной $T_{\min}$ ожидаемой рабочей температурой.

Вторым условием, которое необходимо оценить, является разница между максимальной температурой трубопровода при монтаже T_M и минимальной расчетной температурой.

3.2.34 Продольная деформация, возникающая при изменении температур, рассчитывается по следующей формуле

$$\varepsilon_{l(\text{темп})} = \alpha_m \cdot \Delta T \quad (31)$$

где

ΔT , - $^{\circ}\text{C}$, принимается как большее из ΔT_a или ΔT_M ;

α_m - коэффициент линейного теплового расширения, $1/^{\circ}\text{C}$.

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_a &= \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \\ \Delta T_M &= T_M - T_{\min} \end{aligned} \right\} \quad (31a)$$

***Продольная деформация при растяжении в случае «моста»
в местах отсутствия опор***

3.2.35 Дополнительная продольная, $\varepsilon_{(подв)}$, деформация возникает в следующих случаях:

- ♦ укладка труб от «опорной точки», т.е. стены, люка-лаза, опоры трубы и т.п.;
- ♦ неравномерность несущей способности подушки траншеи;
- ♦ укладка труб в обводненный грунт, а не в сухую обезвоженную траншею.

Нормальной инженерной практикой является проектирование трубопровода, достаточно прочного для того, чтобы обеспечить транспортирование жидкости между заданными опорными точками (на максимальной длине трубы между соединениями). В уравнении, используемом для проверки указанного выше условия, труба рассматривается как простая балка, поддерживаемая опорой.

$$\varepsilon_{(подв)} = \frac{G_{\Sigma}(2d_{cp})^2 r_{cp}}{8E_L J} \quad (32)$$

где:

G_{Σ} - суммарный вес, т, действующий на трубу, равный весу жидкости, занимающей пространство между опорами + вес трубы + грунтовая присыпка;

r_{cp} - средний радиус трубы, см;

E_L - осевой модуль упругости на растяжение;

J - момент инерции поперечного среза трубы,

$$J = \frac{\pi}{2} d_{cp}^3 \delta_{ст}, \quad (33)$$

d_{cp} - средний диаметр трубы, см;

$\delta_{ст}$ - толщина стенки трубы, см.

3.2.36. При анализе необходимо рассмотреть одновременно все деформации и определить допустимую толщину (конструкцию) стенки, при которой деформации равны или меньше допустимой расчетной деформации.

$$\varepsilon_{l(дон)} \leq \varepsilon_{вд} + \varepsilon_{(тепл)} + \varepsilon_{(подв)} \quad (34)$$

Расчет на потерю устойчивости

3.2.37 При подземной прокладке трубопровод подвергается в общем случае следующим радиальным внешним нагрузкам:

- вертикальным статическим и динамическим нагрузкам;
- гидростатическому давлению грунтовых вод;
- внутреннему вакууму.



Рис. 8 Виды деформации

3.2.38 Общее расчетное значение внешних нагрузок должно быть меньше или равным допустимому давлению, вызывающему вдавливание (потерю устойчивости). Допустимое по устойчивости давление, Н/мм², определяется следующей формулой:

$$q_{don} = \frac{1}{FS} [32R_B \times B' \times E' \times SN]^{0,5} \quad (35)$$

где

- q_{don} - допустимое давление, Н/мм²;
 FS - коэффициент безопасности, принимаемый здесь равным 2,5;
 R_B - коэффициент плавучести, б/р, вычисляемый по формуле:

$$R_B = 1 - 0,33 (H_B/H); \quad 0 \leq H_B \leq H,$$

где

- H_B - высота водяного столба над верхней поверхностью трубы, м;
 H - высота над поверхностью трубы до уровня земли, м.

B' - эмпирический коэффициент упругой опоры, б/р, определяемый по формуле:

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0,213H}};$$

E' - комбинированный модуль реакции грунта, МПа.

Уравнение (35) справедливо при следующих условиях:

- без внутреннего вакуума $0,6 \text{ м} \leq H \leq 24,4 \text{ м};$
- с внутренним вакуумом $1,2 \text{ м} \leq H \leq 24,4 \text{ м}.$

3.2.39. В случае с внутренним вакуумом, когда $0,6 \text{ м} \leq H \leq 1,2 \text{ м}$ для вычисления допустимого по устойчивости давления необходимо пользоваться формулой Мизеса (без коэффициента безопасности, не требуемого для такой глубины прокладки):

$$q_{don} = \left(\frac{2E \times \delta_o}{d_{cp} (n_B^2 - 1) \times (1 + K)^2} \right) + \left[n^2 - 1 + \left(\frac{2n_B^2 - 1 - \nu_{hl}}{1 + K} \right) \right] \left(\frac{8E \times I}{d_{cp}^3 [1 - (\nu_{hl}) \times (\nu_{lh})]} \right) \quad (36)$$

где

- E - окружной изгибный модуль упругости, Н/мм²;
 δ_o - сумма толщин структурного и лайнерного слоя, мм, $\delta_o = \delta_{cc} + \delta_{lc}$;
 n_B - количество волн, образующихся на поверхности трубы при потере устойчивости, $n \geq 2$;
 ν_{hl} - коэффициент Пуассона для окружного напряжения (окружность-ось), б/р;
 ν_{lh} - коэффициент Пуассона для продольного напряжения (ось-окружность), б/р;

$$K = \left(\frac{2n_B \times L_C}{\pi \times d_{cp}} \right)^2,$$

где

L_C – расстояние между элементами жесткости (для трубопровода это расстояние между соединениями – муфтами, фитингами), мм;

I – момент инерции стенки трубы, мм³,

$$I = \frac{\delta_{ст}^3}{12}.$$

3.2.40 Расчетное давление при типовой укладке трубы определяется из формулы:

$$q_{расч} = \gamma_B \times H_B + R_B \left(\frac{W_{ГР}}{d_n} \right) + P_{вак} \leq q_{дон} \quad (37)$$

где

γ_B – удельный вес воды, кг/мм³;

H_B – высота столба воды над поверхностью трубы, мм;

R_B – коэффициент плавучести воды, б/р;

$W_{ГР}$ – вертикальная нагрузка грунта на трубу, кг;

d_n – наружный диаметр трубы, мм;

$P_{вак}$ – давление внутреннего вакуума (атмосферное давление при абсолютном отсутствии внутреннего давления в трубе), Н/мм².

Одновременное действие динамической нагрузки и вакуума обычно не рассматривается, тогда расчетное давление при действии нагрузки от грунта и динамической нагрузки определяется по формуле:

$$q_{расч} = \gamma_B \times H_B + R_B \left(\frac{W_{ГР}}{d_n} \right) + \left(\frac{W_D}{d_n} \right) \leq q_{дон} \quad (38)$$

где

W_D – динамическая нагрузка на трубу, кг.

Оценка воздействия грунтовых вод

3.2.41. Грунтовая вода оказывает гидростатическое давление на трубопровод.

Во-первых, это давление может быть разложено на неравномерное давление, вызывающее изгиб поперечного сечения трубопровода, и равномерное внешнее давление, вызывающее только постоянное окружное усилие.

Равнодействующая внешнего гидростатического $G_{ГД}$, т, давления является ничем иным, как взвешивающим давлением, которому подвергается трубопровод по закону Архимеда и которое составляет:

$$G_{ГД} = \pi \times \gamma_B \times r_n^2 \quad (39)$$

где

γ_B – объемный вес воды, т/м³;

r_n – наружный радиус трубы (до внешней поверхности трубопровода), м.

Во-вторых, грунтовая вода взвешивает грунт, вследствие чего его эффективный объемный вес оказывается уменьшенным до величины

$$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_{чг} - \gamma_B}{1 - \varepsilon_{II}} = \gamma_{зан} - \gamma_B, \quad (40)$$

где

$\gamma_{чг}$ – объемный вес материала частиц грунта, равный для большинства входящих в состав грунта минералов $2,650 \div 2,750$ т/м³, а для органических веществ $1,2 \div 1,6$ т/м³;

ε_{II} - коэффициент пористости, представляющий отношение объема пор грунта к объему его твердых частиц, б/р;

$\gamma_{зан}$ – объемный вес грунта при полном заполнении его пор водой, т/м³, равный

$$\gamma_{зан} = \frac{\gamma_{чг} + \varepsilon_{II} \cdot \gamma_B}{1 + \varepsilon_{II}}. \quad (41)$$

В-третьих, для большинства грунтов насыщение их водой приводит к снижению сопротивления сдвигу, а, следовательно, к увеличению давления на трубопровод. Давление, оказываемое грунтовой водой, называется нейтральным, или поровым, а давление самого взвешенного грунтового скелета – эффективным. Совместное нейтральное и эффективное давление на трубопровод оказывается больше, чем одно давление маловлажного грунта. Вес грунта, погруженного в воду, уменьшается на 1/3.

3.2.42 В присутствии грунтовых вод необходимо проверить плавучесть самой трубы заполненной транспортируемой жидкостью.

Сумма нагрузок на трубу должна быть больше, чем выталкивающая сила грунтовых вод $F_{ГРВ}$, т:

$$F_{ГРВ} \leq SF \times (W_{ТР} + W_{Ж} + W_{ГР}) \quad (42)$$

где

$$F_{ГРВ} = \frac{\pi}{4} \times d_n^2 \times \gamma_B - \text{выталкивающая сила грунтовых вод;}$$

d_n – наружный диаметр трубы, м;

γ_B – объемный вес воды, т/м³.

SF - коэффициент безопасности, равный 1,5;

$W_{ТР}$ - вес трубы на единицу длины, т/м;

$W_{ГР}$ - вес грунта над трубой, т/м,

$$W_{ГР} = d_n^2 \times \gamma_{ГР} \times R_B \times H_{ГР}; \quad (43)$$

$W_{Ж}$ – вес жидкости, заполняющей трубопровод, т/м;

$\gamma_{ГР}$ – объемный вес сухого грунта, т/м³;

R_B – коэффициент плавучести воды;

$H_{гр}$ – высота грунта над трубой, м;

Требования к трубопроводам в особых природных и климатических условиях

3.2.43. Проектирование и прокладку трубопроводов в вечномёрзлых грунтах следует производить с учетом требований СНиП 11-02-96, СНиП 2.02.04. Проектирование и прокладку трубопроводов в просадочных и пучинистых грунтах следует производить с учетом требований СНиП 2.02.01. Проектирование баллаستировки подземных и наземных трубопроводов следует производить с учетом требований СП 107-34.

Проектирование переходов через железные и автомобильные дороги следует осуществлять с учетом требований, ВСН 003-88, СП 109-34-97.

3.2.44. Для сейсмически опасных условий эксплуатации оценка стойкости стеклопластиковых трубопроводов из труб, изготовленных по технологии непрерывной намотки, проводится при следующих предположениях.

Сейсмическое воздействие распространяется в трехмерном пространстве во всех направлениях, но только два из них (перпендикулярное и параллельное оси трубопровода) оказывают реальное влияние.

3.2.45. Воздействие в перпендикулярном направлении

Сейсмическое воздействие в перпендикулярном направлении выражается в большей нагрузке от грунта на трубу и увеличении поперечной силы, воспринимаемой стенкой трубы.

3.2.46. Воздействие в параллельном направлении

В результате трения, возникающего между грунтом и трубопроводом, движение грунта вдоль линии трубопровода приводит либо к сдвигу в муфтовом соединении, либо к продольному напряжению в случае клеевого или фланцевого соединений.

Сейсмическое воздействие вдоль направления оси трубопровода и параллельно земле является несущественным.

Расчет ускорений сейсмического движения

3.2.47 Вертикальное и горизонтальное ускорения, вызванные землетрясением, рассчитываются по следующим формулам:

$$a_v = m_{cv} \cdot C_{cv} \cdot I_{зсв} \cdot g, \quad (44)$$

$$a_z = R_{pk} \cdot C_{cv} \cdot I_{зсв} \cdot g, \quad (45)$$

где:

a_v – вертикальное ускорение, м/с²;

a_z – горизонтальное ускорение, м/с²;

- m_{ce} - безразмерный коэффициент, обычно = 2;
 C_{ce} - коэффициент интенсивности сейсмического воздействия, $C_{ce} = (S_{cu}-2)/100$;
 $I_{зсв}$ - коэффициент защиты от сейсмического воздействия, обычно = 1,2;
 R_{pk} - коэффициент реакции конструкции;
 g - ускорение свободного падения, 9.81 м/с²;
 S_{cu} - сейсмическая интенсивность ($S_{ce} \geq 2$), обычно = 9.

R_{pk} (коэффициент реакции конструкции) является функцией фундаментального периода T_0 (колебаний конструкции вдоль рассматриваемого направления):

$$\begin{aligned} \text{при } T_0 > 0,8 \text{ с} & \quad R_{pk} = 0.862 / T_0^{0.667} \\ \text{при } T_0 \leq 0.8 \text{ с} & \quad R_{pk} = I_{зсв} \end{aligned}$$

При неопределенном значении периода T_0 коэффициент R_{pk} принимается равным 1 (максимальное значение).

3.2.48 Вертикальное и горизонтальное ускорения, вызванные землетрясением (пример для $R = 1$), рассчитываются соответственно как:

$$a_g = \frac{2 \cdot (9 - 2)}{100 \cdot 1,2} g = 0.116 g = 1.14 \text{ м/с}^2. \quad (46)$$

$$a_e = \frac{1 \cdot (9 - 2)}{100 \cdot 1,2} g = 0.058 g = 0.57 \text{ м/с}^2. \quad (47)$$

Таким образом, ускорение при землетрясении равны:

- ♦ ускорение в вертикальном направлении: $a_g + g = 10,95 \text{ м/с}^2$.
- ♦ ускорение в горизонтальном направлении $a_h = 0,57 \text{ м/с}^2$.

Проверка вертикальной деформации (устойчивости) трубы при землетрясении

3.2.49 Сейсмическое воздействие в вертикальном направлении увеличивает статическую нагрузку от грунта и временную нагрузку на трубопровод, что приводит к снижению коэффициента безопасности для вертикальной деформации.

3.2.50 Проверка устойчивости трубопровода выполняется в соответствии с его рассчитанными конструктивными параметрами и условиями прокладки по формулам (стандарт AWWA C950-88)

$$\left. \begin{aligned} q_{внгр} &= \left(R_B \frac{W_{ГР}}{d_n} + \frac{W_{Д}}{d_n} \right) \cdot \frac{a_g + g}{g} \\ q_{крд} &= \sqrt{32 R_B \times B' \times E' \times SN} \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

где

- $q_{внгр}$ - внешние нагрузки, Н/мм²;
 $q_{крд}$ - критическое давление, Н/мм²;
 SF - коэффициент безопасности, принимается равным 2,5;
 R_B - коэффициент пластичности воды;

- $W_{ГР}$ - вертикальная нагрузка от грунта на трубу, Н/мм;
 W_D - динамическая нагрузка на трубу, Н/мм;
 a_v - вертикальное ускорение, м/с²;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 d_n - наружный диаметр трубы, мм;
 B' - эмпирический коэффициент упругой опоры;
 E' - модуль реакции грунта, Н/мм²
 SN - окружная жесткость трубы, Па.

Труба считается устойчивой при сейсмическом воздействии, если

$$\frac{q_{кр\partial}}{q_{внгр}} \geq SF \quad (48a)$$

Сейсмическая деформация грунта

3.2.51 Для расчета сейсмического воздействия в направлении, параллельном оси трубопровода, необходимо учитывать деформацию грунта при землетрясении:

$$\varepsilon'_{zp} = \frac{(T_{св} \times a_z)}{(2\pi \times V_{св})}, \quad (49)$$

где

- $T_{св}$ - период сейсмической волны, с;
 a_z - сейсмическое (горизонтальное) ускорение, м/с²;
 $V_{св}$ - скорость распространения сейсмической волны, м/с.

Продольная деформация трубы при сейсмическом воздействии

3.2.52 Нефиксированное соединение

Муфтовое соединение не передает продольные напряжения; при таком типе соединения возможны перемещения секций труб в месте соединения.

Необходимо определить продольную деформацию трубы в результате землетрясения и убедиться, что перемещение в месте соединения не приводит к выскальзыванию конца трубы, входящего в муфту, из муфты.

3.2.53. Фиксированное соединение

Соединение «склеивание встык» (ламинированное соединение) передает продольные напряжения.

Необходимо определить продольную деформацию трубы в результате землетрясения, добавить деформацию под действием рабочего давления и убедиться, что общая деформация не превышает допустимую продольную деформацию.

4. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

4.1. При транспортировке суспензий и абразивных жидкостей возникают две проблемы – коррозия и абразивное истирание, поэтому внутренний слой трубы (лайнер) должен быть

изготовлен из специальных смол с возможным добавлением порошковых материалов, для создания композиций, имеющих повышенную устойчивость к истиранию.

4.2 Ассортимент трубной продукции, изготовленной по технологии непрерывной намотки, включает трубы из армированного стеклопластика с внутренним слоем (лайнером) из материала, устойчивого к коррозии и истиранию, которые могут использоваться для транспортировки химически агрессивных и абразивных жидкостей.

4.3 Химически устойчивый и стойкий к истиранию армированный стеклопластик позволяет транспортировать следующие суспензии с указанными в качестве примера характеристиками:

Известняковая суспензия (содержание твердых веществ: 10 % - 15 % по весу.)

Максимальная скорость транспортируемого потока	≤	2.6 м/с
Размер частиц	85,0 %	< 90 микрон
	13,0 %	< 150 микрон
	1,5 %	< 200 микрон
	0,5 %	< 300 микрон

Гипсовая суспензия (содержание твердых веществ: 35 % - 50 % по весу.)

Максимальная скорость транспортируемого потока	≤	2.0 м/с
Размер частиц	60 микрон (средний размер)	
	150 микрон (максимальный размер частиц)	

Известняковая суспензия (содержание твердых веществ: 35% по весу.)

Максимальная скорость транспортируемого потока	≤	2.8 м/с
Размер частиц	95.0 %	< 70 микрон
	5.0 %	< 150 микрон

В случае воздействия абразивной среды на внешнюю поверхность трубы, внешний слой должен изготавливаться также из материала, устойчивого к абразивному истиранию.

5. КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ

5.1. Проходы

5.1.1 Проход стеклопластиковых труб сквозь стенки сооружений или колодцев, выполненных не из стеклопластика, следует осуществлять с помощью гильз из отрезков стальных труб. Уплотнение пространства между стеклопластиковой трубой и гильзой следует выполнять с использованием резиновых колец, либо лент (100 – 200 мм шириной и 10 – 20 мм толщиной в зависимости от диаметра трубы). Кроме того, необходимо соблюдать следующие условия:

- а) подушка под трубу в траншее перед стенкой сооружения должна быть:
шириной $\geq 1 D$, длиной $\geq 2 D$, где D - диаметр трубы;
- б) каждый прямок в траншее должен иметь размеры: ширину $\geq 3 D$, длину $\geq 3 D$.

5.2. Анкерные блоки

5.2.1 В местах поворотов трассы, установок фитингов и в конечных точках напорных трубопроводов предусматриваются упоры (анкерные блоки), к которым крепятся, или в которые заделываются при создании упора стеклопластиковые трубы.

5.2.2 Анкерные блоки могут быть выполнены в трех видах:

- 1) гравитационные
- 2) реактивные
- 3) комбинированные

5.2.3 Контакт анкерного блока со стенкой трубы осуществляется через резиновую прокладку толщиной 10÷30 мм.

5.2.1. Гравитационные анкерные блоки

5.2.1.1 Гравитационные анкерные блоки изготавливаются таким образом, чтобы их собственный вес мог противодействовать силе вызванной внутренним давлением. Т.е. характеристики поверхности основания должны гарантировать противодействие за счет сил трения.

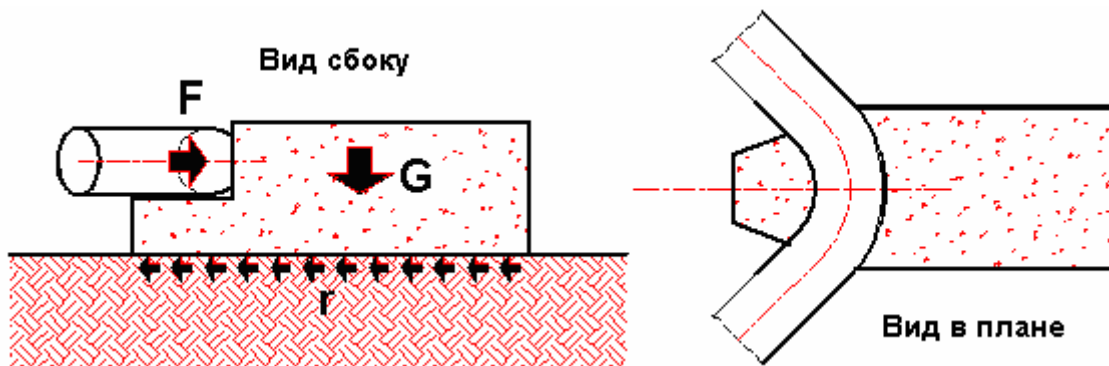


Рис. 9.
Гравитационный анкерный блок

При этом необходимо принимать в расчет грунтовые воды, поскольку они снижают вес бетонного блока и изменяют коэффициент трения.

В соответствии с условиями укладки трубопровода и типом грунта определяется необходимый коэффициент трения бетон/грунт, площадь опоры и вес анкерного блока.

5.2.2. Реактивные анкерные блоки

5.2.2.1 Реактивные анкерные блоки устанавливаются в тех случаях, когда грунт обладает стабильными характеристиками (каменистый грунт, плотный и твердый грунт). В этом случае требуется соответствующая глубина засыпки над анкерным блоком - не ниже 1 м.

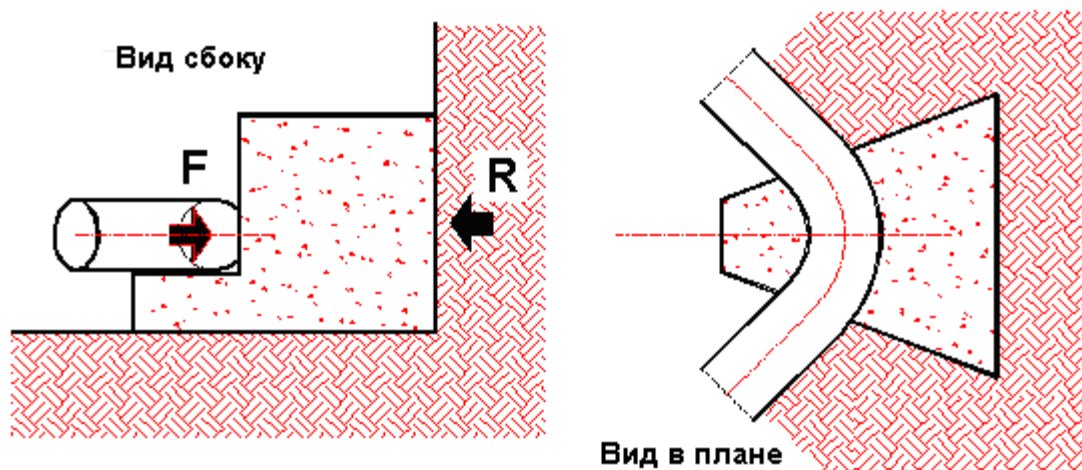


Рис. 10.
Реактивный анкерный блок

Такие анкерные блоки образуют противодействие за счет пассивной реакции грунта; для этих целей они должны отливаться (устанавливаться) примыкающими к вертикальной стене ненарушенного грунта.

5.2.3. Комбинированные анкерные блоки

5.2.3.1 Комбинированные анкерные блоки размещаются в случае прокладки трубопровода в грунте смешанного типа (частично стабильного грунта) и в случаях, когда необходимо использовать свойства как гравитационных, так и реактивных анкерных блоков.

Примечание: для каждого вида анкерных блоков в случае необходимости следует проводить уплотнение грунта вокруг блоков или стабилизацию грунта под блоками.

5.2.4. Линейные анкерные блоки

5.2.4.1 Линейные анкерные блоки используются для контроля и предотвращения осевых сдвигов труб с муфтовыми (подвижными) соединениями. Эти сдвиги могут быть вызваны изменениями давления или температурным градиентом. Анкерный блок должен быть размещен под трубой и соединен с ней при помощи нейлоновых лент.

5.2.4.2 Линейные анкерные блоки могут устанавливаться как при подземной, так и при наземной прокладке стеклопластикового трубопровода.

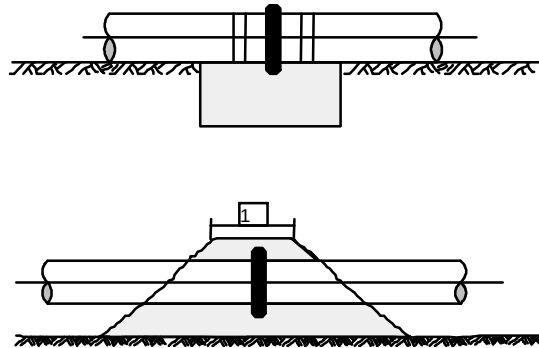


Рис.11.

Схема установки линейного анкерного блока

5.2.4.3 В некоторых случаях анкерные блоки могут быть выполнены из тощего бетона ($50 \div 70 \text{ кг/м}^3$) на соответствующую длину, определяемую возможностью стекания бетона под его естественным углом.

В обоих случаях на стеклопластиковой трубе должно быть сформировано «ребро» (из ленты) толщиной 25 мм, длиной 150 мм.

5.3. Типовые схемы установки анкерных блоков

5.3.1 Некоторые типовые схемы анкерных блоков, которые могут использоваться в процессе строительства подземного трубопровода приведены ниже. Они устанавливаются в местах монтажа отводов (в том числе – с изменением глубины прокладки), Т-образных и глухих фланцев, под арматурой и т.д.

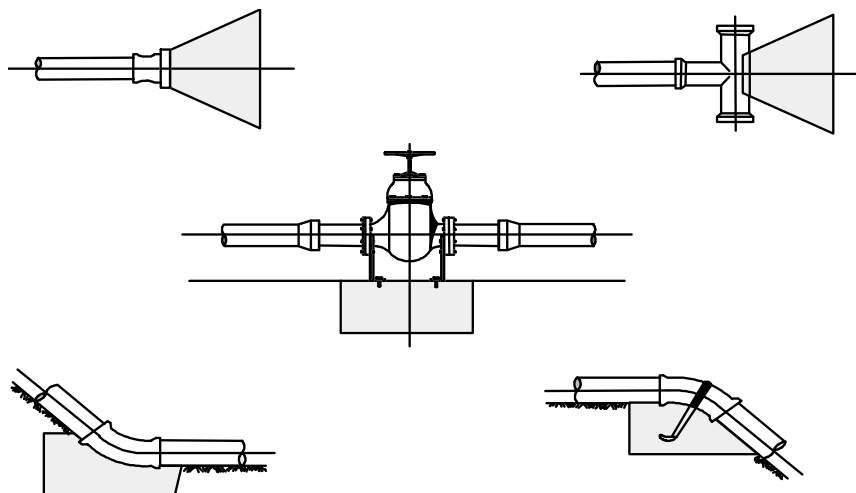


Рис. 12

Типовые схемы установки анкерных блоков.

5.3.2 Запорная арматура всегда блокируется анкерными опорами, для того чтобы разгрузить напряжения, вызываемые температурными расширениями трубы и гидравлическими ударами, возникающими при работе задвижек. Во многих случаях анкерные блоки устанавливаются так, что они полностью охватывают трубу в месте установки опоры.

5.4. Расчет анкерных блоков

5.4.1 Для расчета анкерных блоков (бетонных упорных подушек) необходимо задать следующие параметры грунта:

- а) угол внутреннего трения ;
- б) сцепление;
- с) удельный вес грунта;
- д) коэффициент трения бетон/грунт;
- е) пассивная реакция грунта

Для различных грунтов значения этих параметров приведены в таблице 9.

Таблица 9

Тип грунта	Угол внутреннего трения, $\varphi_{тр}$	Сцепление (Па)	Удельный вес (Н/м ³)	Коэффициент трения бетон /грунт
Влажный грунт (WS), илистые глины (SC), органические почвы (OS)	20° 25°	10000	18000	0.30
Песчаные грунты (SS), глинистые песчаники (CS), песок (S)	30° 35°	5000 0	17000	0.50
Сухие грунты (DS): гравий (G), крошенный камень (CS)	40°	0	16000	0.70

Пассивная реакция грунта

5.4.2 Пассивная реакция грунта против бетонного блока определяется по формуле:

$$T_{ГР} = 0,5 \cdot \gamma_{ГР} (H_{1бл}^2 - H_{2бл}^2) \cdot B_{бл} \cdot tg^2 (45 + \varphi_{тр} / 2) \quad (50)$$

где:

- $T_{ГР}$ - реакция грунта, Н;
- $\gamma_{ГР}$ - удельный вес грунта, Н/м³;
- $H_{1бл}$ - расстояние от уровня земли до основания бетонного блока, м;
- $H_{2бл}$ - расстояние от уровня земли до верхней поверхности бетонного блока, м;
- $B_{бл}$ - ширина бетонного блока находящаяся в контакте с ненарушенным грунтом, м;
- $\varphi_{тр}$ - угол внутреннего трения грунта, град.

Расчет воздействий на анкерные блоки

5.4.3 Сила, действующая в направлении биссектрисы угла отвода $F_{отв}$, Н, определяется по формуле:

$$F_{отв} = 2P_{II} \times \omega \times \sin\left(\frac{\beta_o}{2}\right), \quad (51)$$

где:

- P_{II} - давление испытания при прокладке трубопровода, Н/мм²;
- β_o - угол отвода, град.
- ω - площадь поперечного сечения трубопровода, мм²

5.4.4 Сила, действующая в точках монтажа переходников, тройников и глухих фланцев $F_{тм}$, Н, определяется по формуле:

$$F_{тм} = P_{II}(A_{бд} - A_{мд}), \quad (52)$$

где:

P_{II} - давление при испытании трубопровода, Н/мм²;

$A_{бд}$ - площадь сечения потока большого диаметра, мм²;

$A_{мд}$ - площадь сечения потока меньшего диаметра, мм².

В случае тройников или глухих фланцев $A_{мд} = 0$.

Оценка силы трения бетон/грунт

5.4.5 Сила трения, $F_{трн}$, Н, действующая на анкерный блок, оценивается по формуле:

$$F_{тр} = (I_{бт} \times \gamma_{бт} + I_{гр} \times \gamma_{гр}) \times f \quad (53)$$

где:

$I_{бт}$ – объем бетона, м³;

$\gamma_{бт}$ - удельный вес бетона, Н/м³;

$I_{гр}$ – объем грунта над бетонным блоком, м³;

$\gamma_{гр}$ - удельный вес грунта, Н/м³;

f = 0,7 - коэффициент трения бетон/грунт (или принимается по таблице 9).

3.3.3.2 Условие равновесия сил:

$$F_{тр} + T_{гр} \geq 1,5 \times F, \quad (54)$$

где :

$T_{гр}$ – реакция грунта, Н, формула (50);

$F_{тр}$ - сила трения, действующая на анкерный блок, Н, формула (53);

F - сила, действующая на анкерный блок, Н ($F_{отс}$ или $F_{тм}$).

6. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

6.1. Стеклопластиковые трубы и фасонные изделия перевозят любым видом транспорта в закрепленном состоянии, препятствующем их перемещению, деформации и повреждениям в соответствии с правилами перевозки на соответствующих видах транспорта.

6.2. Для перевозки труб одной длины, но разного диаметра допускается помещать их одну в другой (телескопически) с обязательной защитой внутренней и наружной поверхностей труб от повреждений. В качестве защитных материалов можно использовать: резиновые жгуты и кольца; ткань, пленку или прокладки из поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена и т.п.

Примечание: под термином «трубы» следует понимать как «трубы без муфт», так и «трубы с муфтами на одном конце»; обычно муфта устанавливается на трубу в заводских условиях.

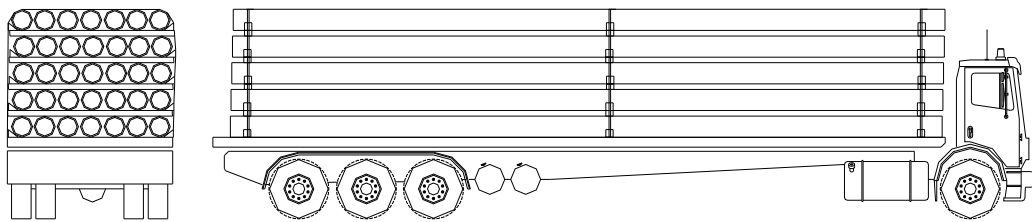
6.3. В зависимости от габаритов труб их можно перемещать вручную либо с помощью подъемно-транспортного оборудования, используя неметаллические мягкие стропы, тросы или ремни, что гарантирует целостность внешней поверхности труб. Рекомендуется использовать ремни шириной минимум 80 мм. Поднятие при помощи крючков за концы труб строго запрещено.

Запрещается перемещать трубы волоком, сбрасывать и спускать по наклонной плоскости, не допускается ронять и ударять трубы друг о друга.

6.4 При погрузке и разгрузке торцы труб и фитингов должны быть защищены. Защита может состоять из деревянных досок или полос мягкого пластика, которые крепятся к торцам при помощи мягких ремней.

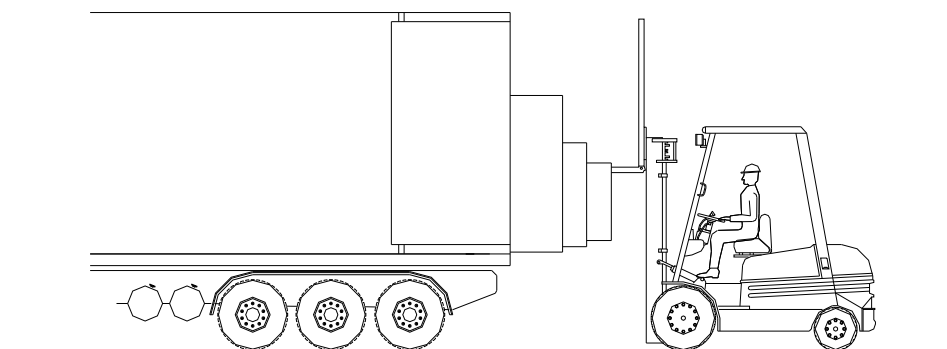
6.5. Прямые сегменты труб или большие фитинги при перемещениях необходимо зацеплять в двух точках по длине трубы или фитинга, сбалансировав их соответствующим образом.

6.6 Трубы и компоненты должны укладываться на деревянные перекладины, надежно прикрепленные к дну грузовика. Деревянные перекладины так же размещаются между рядами труб.



Для крепления самых крайних труб используются клинья для предотвращения их перемещения во время транспортировки. При транспортировке пакет труб необходимо обмотать крепежными лентами или ремнями.

6.7 Процедура разгрузки выполняется в порядке, обратном процедуре погрузки. В случае разгрузки труб, уложенных телескопически, можно применять вильчатый подъемник. Трубы следует разгружать по одной, начиная с трубы самого малого диаметра. Трубу следует сначала слегка приподнять, а затем вытащить, не повреждая внешнюю трубу.



6.8 Длительное хранение труб, предназначенных для подземной прокладки, осуществляется в закрытых помещениях или под навесом при температуре от минус 50 до 50 °С в условиях, исключающих прямое попадание солнечных лучей и не ближе 1 м от нагревательных приборов.

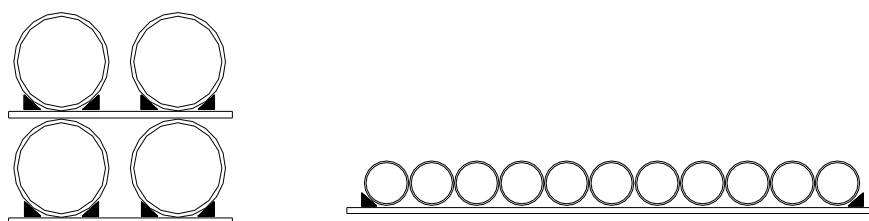
Для защиты торцов труб и муфт, а также внутренней поверхности труб от загрязнения и повреждения допускается обматывать торцы пластмассовой пленкой.

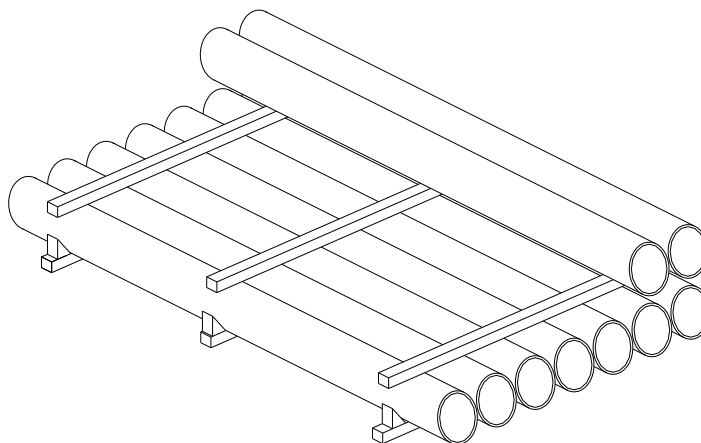
6.9 Трубы должны храниться на стеллажах или в штабелях высотой до 2 м и опираться на боковые опоры (или клинья), препятствующие их скатыванию или сползанию. При хранении трубы могут укладываться друг на друга на опорные или разделительные доски шириной не менее 150 мм на ровной горизонтальной поверхности, свободной от твердых и острых предметов. Нижний и последующие ряды должны укладываться не менее чем на три опоры (при длине трубы 6 ÷ 12 м). Рекомендуемое количество рядов и высота укладки труб в штабеля указаны в таблице 10.

Таблица 10

Высота укладки и количество рядов

Диаметр, мм	250÷500	600÷800	900÷1400	> 1500
Количество рядов	9÷4	4 - 3	2	1
Максимальная высота укладки	< 2.4 м	< 2.6 м	< 2.8 м	Диаметр





Допускается укладка нижнего ряда труб непосредственно на песчаный грунт при условии плоской, ровной, горизонтальной поверхности и отсутствии камней, твердых и острых предметов.

6.10 Фасонные детали труб должны храниться отдельно по типам и диаметрам в условиях, исключающих удары и повреждения поверхностей, а также без воздействия механических нагрузок.

6.11 Уплотнители и дистанционные кольца должны храниться в помещениях при температуре от 0 до 25 °С на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов и должны быть защищены от загрязнения химическими реактивами и смазочными материалами на нефтяной основе.

7. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем Техническом Руководстве приведены ссылки на следующие нормативные документы:

1. СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения
2. СНиП 2.04.03-85* Канализация. Наружные сети и сооружения
3. СНиП 3.05.04-85* «Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации»
4. СП 40-104-2001 «Проектирование и монтаж подземных трубопроводов водоснабжения из стеклопластиковых труб»
5. СП 40-105-2001 «Проектирование и монтаж подземных трубопроводов канализации из стеклопластиковых труб»
6. СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования».
7. СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»
8. СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений»

9. СП 107-34-96 «Свод правил сооружения магистральных газопроводов. Свод правил по сооружению линейной части газопроводов. Балластировка, обеспечение устойчивости положения газопроводов на проектных отметках»
10. ВСН 003-88 «Строительство и проектирование трубопроводов из пластмассовых труб»
11. СП 109-34-97 «Свод Правил по сооружению магистральных газопроводов. Сооружение переходов под автомобильными и железными дорогами
12. СНиП 3.01.04-87 Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения
13. СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»
14. СНиП III-4-80* Техника безопасности в строительстве
15. ТУ 2296–002–96579200–2007. Канализационные трубы, фасонные детали и соединительные элементы из композитного материала по технологии «НТТ».
16. Технические условия. Напорные трубы, фасонные детали и соединительные элементы из композитного материала по технологии «НТТ» (в доработке).
17. AWWA Manual M45 «Проектирование стеклопластиковой трубы»
18. ANSI/AWWA C950-01 «Стандарт AWWA для стеклопластиковых напорных труб»
19. Пособие по определению толщин стенок стальных труб, выбору марок, групп и категорий сталей для наружных сетей водоснабжения и канализации (к СНиП 2.04.02 и СНиП 2.04.03)

8. Перечень условных обозначений, использованных в ТР

Обозначение	Наименование параметра
a	скорость распространения ударной волны в трубопроводе
a_2	коэффициент, учитывающий характер шероховатости внутренней поверхности трубы
$A_{бд}$	площадь сечения потока большого диаметра в местах установки анкерных блоков
a_e	вертикальное ускорение, вызванное землетрясением (сейсмическое)
a_e	горизонтальное ускорение, вызванное землетрясением (сейсмическое)
$A_{мд}$	площадь сечения потока малого диаметра в местах установки анкерных блоков
α_m	линейный коэффициент теплового расширения
β_o	угол колена (отвода)
β	центральный угол в трубе, соответствующий расчетному наполнению
B'	эмпирический коэффициент упругой опоры
$B_{бл}$	ширина бетонного блока находящаяся в контакте с ненарушенным грунтом
$B_{тр}$	ширина траншеи по линии пят арки, образуемой сводом грунта над трубой
C	коэффициент Шези
χ	смоченный периметр внутренней стенки трубы

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

$C_{зв}$	скорость звука в воде
$C_{св}$	коэффициент интенсивности сейсмического воздействия
Δ	эквивалентная шероховатость
$\delta_{сс}$	толщина структурного слоя стенки трубы
δd	максимально допустимая долговременная деформация
D_f	коэффициент формы, соотносящий прогиб трубы и изгибную деформацию
Δ_h	повышение давления при гидравлическом ударе
D_L	коэффициент запаздывания прогиба
δ_o	сумма толщин структурного и лайнерного слоя
ΔP	повышение давления при гидравлическом ударе
ΔT	разность температур при вычислении продольной деформации
Δy	поперечный (окружной) прогиб трубы
Δy_a	максимально допустимый долговременный вертикальный прогиб
$d_{вн}$	внутренний диаметр трубы
$\delta_{лс}$	толщина лайнерного слоя стенки трубы
d_n	наружный диаметр трубы
$d_{ср}$	средний диаметр трубы
$\delta_{СС}$	толщина структурного слоя стенки трубы
$\delta_{ст}$	толщина стенки трубы
E_n	окружной модуль упругости на растяжение
E	окружной изгибный модуль упругости
E_L	осевой модуль упругости на растяжение;
E'	комбинированный модуль реакции грунта
$\varepsilon_{(поде)}$	продольная деформация от изгиба под действием вертикальных сил трубы с опорой на концах
E'_n	модуль реакции естественного грунта в зоне засыпки трубы
ε_b	максимальная окружная изгибная деформация, вызванная прогибом
E_b'	модуль реакции грунта в зоне засыпки трубы
E_n	окружной модуль упругости на растяжение
ε_l	продольная деформация (уменьшение продольного размера трубы) от внутреннего давления
$\varepsilon_l(доп)$	допустимая продольная деформация
$\varepsilon_l(темп)$	продольная деформация, возникающая при изменении температур
$\varepsilon_{вд}$	окружная расчетная деформация под действием внутреннего давления (расширение)
$\varepsilon'_{зр}$	деформация грунта при землетрясении
$E_{ж}$	модуль объемной упругости жидкости
ε_n	коэффициент пористости грунта
F	сила, действующая на кольцо трубы единичной длины в направлении, перпендикулярном оси трубы

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

Обозначение	Наименование параметра
Φ	расчетная несущая способность, т.е. предельно допустимая нагрузка
f	коэффициент трения бетон/грунт
FS_b	коэффициент безопасности по изгибу
$F_{отв}$	сила, действующая на анкерный блок, в направлении биссектрисы угла отвода
$F_{тм}$	сила, действующая на анкерный блок, в точках монтажа переходников, тройников и глухих фланцев
$F_{трн}$	сила трения, действующая на анкерный блок
g	ускорение силы тяжести
G	нагрузка от одного (спаренного) колеса
G_{Σ}	суммарный вес, действующий на трубу при изгибе ее перпендикулярно оси
$\gamma_{бт}$	удельный вес бетона
$\gamma_{в}$	удельный вес воды, объемный вес воды
$\gamma_{взв}$	эффективный объемный вес грунта в грунтовой воде
$G_{ГД}$	внешнее гидростатическое давление
$\gamma_{ГР}$	удельный вес сухого грунта
$\gamma_{зап}$	объемный вес грунта при полном заполнении его пор водой
$\gamma_{чг}$	объемный вес материала частиц грунта
H	высота засыпки над трубой (глубина прокладки)
h	потери напора
$H_{1бл}$	расстояние от уровня земли до основания бетонного (анкерного) блока
$H_{2бл}$	расстояние от уровня земли до верхней поверхности бетонного блока
$H_{В}$	высота столба воды над верхней поверхностью трубы
$HDB_{деф}$	гидростатическая проектная база деформации
h_s	высота потока транспортируемой жидкости (наполнение)
$H_{Г}$	геометрический напор (потери напора, вызванные разностью высот на отметках по трассе трубопровода)
$H_{ГР}$	высота грунта засыпки от верха трубопровода
I	момент инерции стенки трубы (второй момент инерции)
i	гидравлический уклон
i^*	гидравлический уклон (удельные потери напора напорных труб)
I_F	коэффициент динамической нагрузки
$I_{бт}$	объем бетона анкерного блока
$I_{ГР}$	объем грунта над бетонным (анкерным) блоком
$I_{зсв}$	коэффициент защиты от сейсмического воздействия
J	момент инерции поперечного среза трубы
j	вид (номер) местного сопротивления
K_{χ}	коэффициент прогиба при воздействии грунта на трубу (коэффициент постели)
$k_{мс}$	коэффициент, учитывающий потери напора на местные сопротивления

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

Обозначение	Наименование параметра
L	длина трубопровода
λ	коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода
L_1	ширина зоны действия нагрузки от транспортных средств параллельно направлению движения
l_1	длина следа от колеса в направлении движения
L_2	ширина зоны действия нагрузки от транспортных средств перпендикулярно направлению движения
l_2	ширина следа от колеса перпендикулярно направлению движения
n	коэффициент шероховатости стеклопластиковой трубы
ν	коэффициент кинематической вязкости
ND	номинальный диаметр трубы
ν_{lh}	коэффициент Пуассона, ось/окружность
n_B	количество волн, образующихся на поверхности трубы при потере устойчивости
P_C	класс давления
PN	класс давления, номинальное давление
PS	класс жесткости (жесткость трубы)
$P_{\text{вак}}$	давление внутреннего вакуума
P_{Γ}	давление гидравлического удара
$P_{\text{и}}$	давление испытания при прокладке трубопровода
P_P	рабочее давление жидкости в трубопроводе
Q	расход жидкости
$\varphi_{\text{тр}}$	угол внутреннего трения грунта
$q_{\text{внгр}}$	внешние нагрузки
$q_{\text{доп}}$	допустимое по устойчивости давление
$q_{\text{крд}}$	критическое давление
$q_{\text{расч}}$	расчетное давление на проверку устойчивости трубы
ρ	плотность жидкости, объемный вес жидкости
R	гидравлический радиус
R	расчетная нагрузка на трубопровод (усилие) в опасном его сечении
r_C	коэффициент приведения (приводящий коэффициент)
R_B	коэффициент плавучести воды (выталкивающей силы)
$r_{\text{вн}}$	внутренний радиус трубы
$R_{\text{рк}}$	коэффициент реакции конструкции при сейсмическом воздействии
$r_{\text{ср}}$	средний радиус трубы
S_b	долговременная кольцевая изгибная деформация
S_C	коэффициент комбинированной реакции грунта
SF	коэффициент безопасности
SN	номинальная (кольцевая) жесткость трубы, класс жесткости

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

Обозначение	Наименование параметра
S_{cu}	сейсмическая интенсивность
T_M	температура трубы при монтаже
T_G	реакция грунта на анкерную опору
T_{max}	максимальная ожидаемая рабочая температура жидкости
T_{min}	минимальная ожидаемая рабочая температура жидкости
V	скорость жидкости, средняя по сечению скорость жидкости
V_{max}	максимально допустимая скорость жидкости в стеклопластиковой трубе
V_{min}	минимальная скорость безнапорного потока сточной жидкости (скорость самоочищения трубы)
$V_{св}$	скорость распространения сейсмической волны
ω	площадь поперечного сечения трубопровода
ω	площадь живого сечения потока
$W_{ГР}$	вертикальная нагрузка от веса грунта над трубой
W_D	динамическая нагрузка от транспортных средств
$W_{Ж}$	вес жидкости, заполняющей трубопровод
$W_{ТР}$	вес трубы на единицу длины
ζ	коэффициент местного сопротивления

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

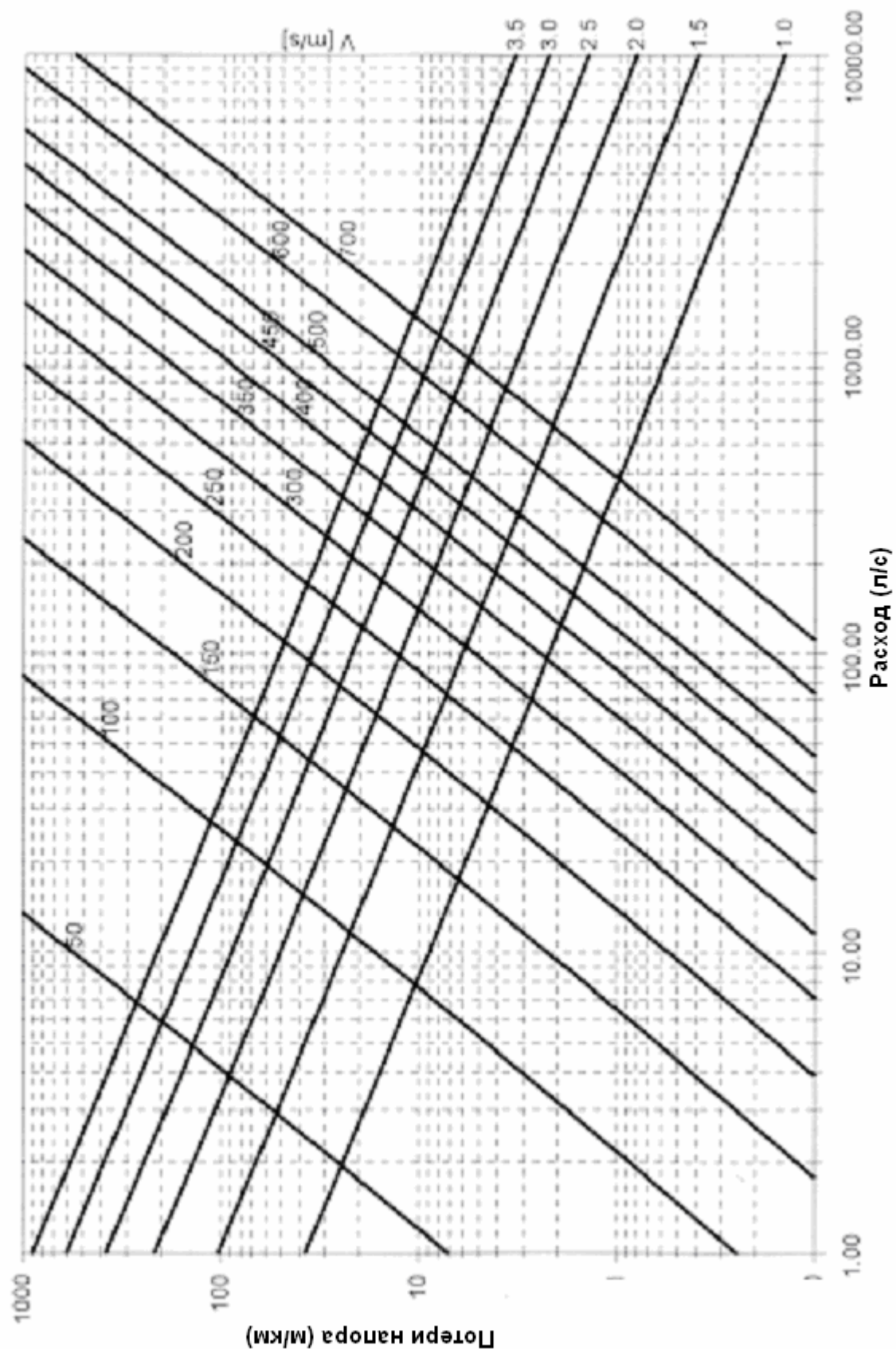
НОМОГРАММЫ

для определения потерь напора в стеклопластиковых трубах

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ДИАГРАММА ПОТЕРЬ НАПОРА

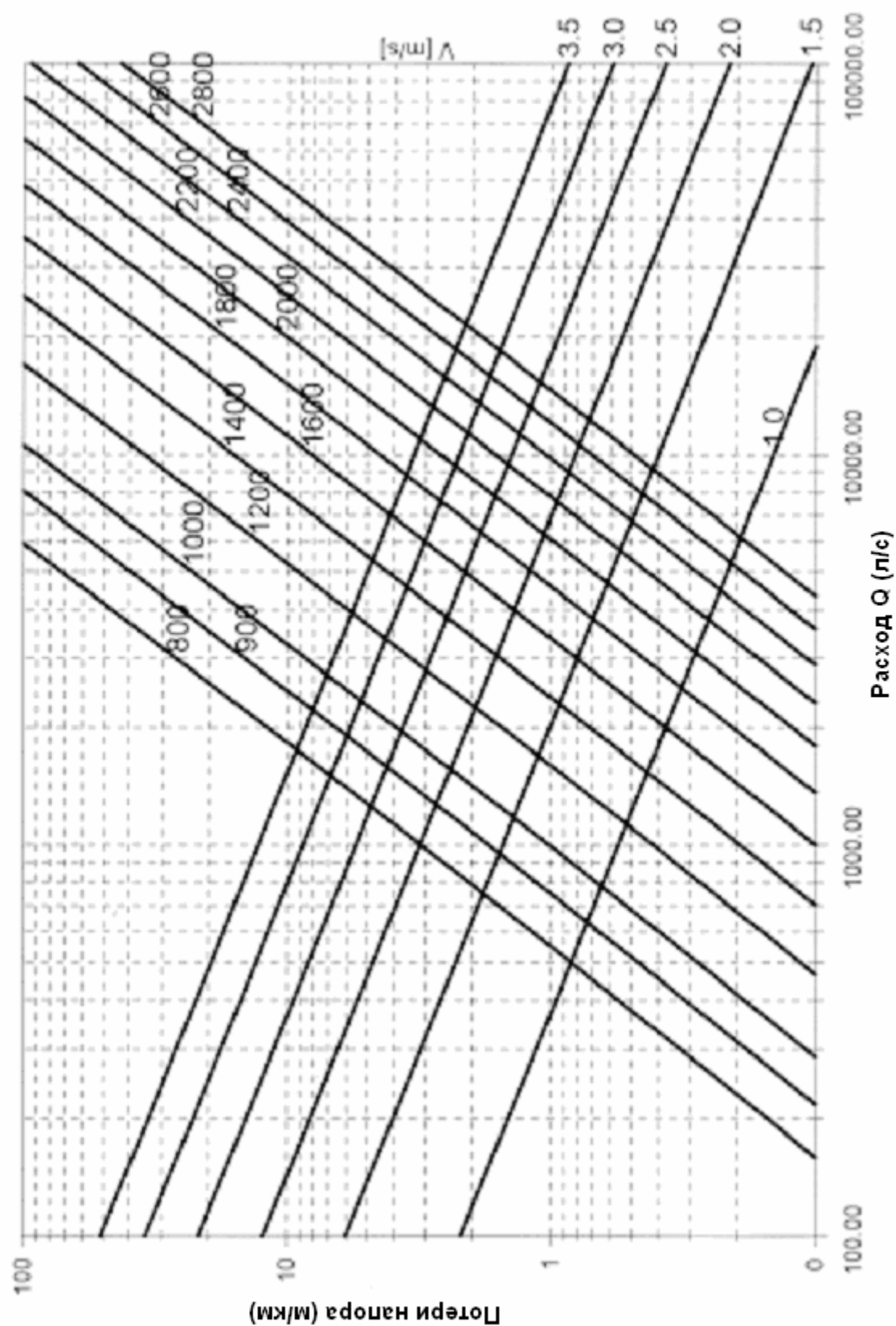
ND 50 - ND 700



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ДИАГРАММА ПОТЕРЬ НАПОРА

ND 800 - ND2800



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Примеры расчетов

Примеры гидравлического расчета

Пример 1. Расчет напорного трубопровода.

Требуется подать воду по трубопроводу из стеклопластиковых труб на расстояние $L = 500$ м в количестве $Q = 400$ л/с с отметки $\nabla_1 10.00$ м на отметку $\nabla_2 30.00$ м. Требуется определить внутренний диаметр d_e труб, напор H , который необходимо создать для подачи воды потребителю и затем – определить рабочее давление P_p .

1. Определяем номинальный диаметр трубы с использованием рекомендованных в «Таблицах для гидравлического расчета водопроводных труб» Ф.А. Шевелева, А.Ф. Шевелева, Москва, Стройиздат, 1984,) данных в таблицах для приближенного определения диаметра трубы в зависимости от расхода с учетом экономического фактора (учитывающего оптимальные соотношения капитальных и эксплуатационных затрат). Согласно этим данным для расхода 400 л/с принимаем условный диаметр $D_y = 600$ мм.

2. По номенклатуре изготовителя стеклопластиковых труб (см. Технические условия) выбираем: номинальный диаметр $ND = 600$ мм (по $D_k = 600$ мм), $SN 5000$ Па (наиболее приемлемое значение для первого приближения, при проверке на прочность в процессе проектирования значение SN может быть скорректировано), $PN6$ атм. (как первое приближение) и $d_b = 595$ мм (в соответствии с данными завода-изготовителя по фактическим значениям внутреннего диаметра труб).

3. Для определения потерь напора используем (с учетом разности отметок) формулу (3а):

$$H = H_f + h = H_f + i \cdot L \cdot 1,1$$

где:

- H_f – разность отметок на начальном и конечном участке трубопровода, м;
- i – гидравлический уклон, м/м, который принимается по таблицам Приложения 2 ТР (Таблицам Шевелева) в зависимости от d_e и Q ;
- L – длина трубопровода, м
- $1,1$ – коэффициент, учитывающий местные потери на трение, б/р.

4. Тогда по Приложению 2 ТР находим:

при $d_b = 595$ мм и $Q = 400$ л/с, $1000 i = 2,468$ м, $V = 1,44$ м/с

$$H = (\nabla_2 - \nabla_1) + 0,002468 \times 500 \times 1,1 = 20 + 1,357 = 21.355 \text{ м водяного столба.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Для создания напора, равного 21,355 м водяного столба оказывается достаточным (в соответствии с номенклатурой изделий завода-изготовителя) рабочее давление $P_p = 4$ атм.

В случае если бы рассчитанный напор H превысил бы значение в 60 м водяного столба (6 атм.), необходимо было бы повторить процедуру расчета для фактического внутреннего диаметра, соответствующего давлению $P_N = 10$ атм. и убедиться в том, что для создания рассчитанного напора достаточно давления $P_p = 10$ атм.

Пример 2. Расчет самотечного трубопровода.

Выполнить гидравлический расчет канализационного самотечного трубопровода из стеклопластиковых труб, по которому отводятся бытовые сточные воды в количестве $Q_{\text{макс}} = 180 \text{ м}^3/\text{час} = 50 \text{ л/с}$ от смотрового колодца №1 до колодца №2. В колодец №1 сточные воды поступают по трубопроводам $\varnothing 160$ мм от нескольких зданий на отметку $\nabla 100$ м. Отметки земли у колодца №1 и №2 одинаковые и находятся на горизонтали: $\nabla 106$ м.

Требуется определить:

- внутренний диаметр трубопровода $- d$, мм;
- гидравлический уклон $- i$, м/м;
- скорость движения воды $- V$, м/с, при наполнении $\frac{h}{d}$;
- отметку лотка колодца №2: $\nabla = \nabla 106 - h$, где h – потери напора по длине трубопровода, м

Дополнительные исходные данные:

Расстояние между колодцами $L = 500$ м.

Глубина промерзания на объекте - $H_{\text{пр.}} = 1,6$ м

Решение

1. Согласно требованиям СНиП 2.04.03 потери напора определяются по формуле:

$$h = i \times L \times 1,1, \text{ м водяного столба.}$$

Гидравлический уклон i определим по Приложению 3 настоящих ТР в зависимости от Q , л/с, d , мм и $\frac{h}{d}$ - в последовательности:

2. Известно, что $Q = 50$ л/с; целесообразно (СНиП 2.04.03) $\rightarrow \frac{h}{d} = 0,6 \div 0,8 \rightarrow V \approx 1,1 \div 1,2$ м/с;

3. По таблицам Приложения 3 ТР определяется $\rightarrow ND = 300$ мм, $d_b = 305,0$ мм, SN 5000 Па, PN 6 атм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Примечание: Действия 2 и 3 выполнены с использованием таблиц в Части II ТР, где таблицы рассчитаны для напорной канализации. С использованием данных для самотечной канализации, за которыми можно обратиться к авторам настоящих ТР и которые в полном объеме будут опубликованы позднее, действия 2 и 3 будут выполняться в такой же последовательности, только с отличными от приведенных в Части II ТР цифровых значений.

$$\text{при } 1000 i = 2,5 \rightarrow \frac{h}{d} = 0,6 \rightarrow V = 1,082 \text{ м/с;}$$

Необходимо учесть, что на трубопроводах $D_y = 300$ мм расстояние между любыми смотровыми колодцами не должно превышать 50 м (см. СНиП 2.04.03). Следовательно, на трассе $L=500$ м необходимо предусмотреть 10 участков. Тогда отметки лотков в колодцах можно определить в соответствии со следующей таблицей:

№ участка	Диаметр, D, мм	Длина, l, м	уклон i, м	$h=i \cdot l \cdot 1,1$, м	Отметки		
					земли	лотка в нач.	лотка в конце
1- а	300	50	0,0025	0,1375	106	100,000	99,8625
а - б	300	50	0,0025	0,1375	106	99,854	99,7165
б - в	300	50	0,0025	0,1375	106	99,708	99,5705
в - г	300	50	0,0025	0,1375	106	99,562	99,4245
г- д	300	50	0,0025	0,1375	106	99,416	99,2785
д – е	300	50	0,0025	0,1375	106	99,270	99,1325
е – ж	300	50	0,0025	0,1375	106	99,124	98,9865
ж - з	300	50	0,0025	0,1375	106	98,978	98,8405
з- и	300	50	0,0025	0,1375	106	98,832	98,6945
и- 2	300	50	0,0025	0,1375	106	98,686	98,5485

Здесь гидравлический уклон в самом каждом колодце принят равным 0,0085.

Пример проектного расчета

В качестве примера проектного расчета рассматривается вариант проверок на предельные нагрузки напорного трубопровода с заданными параметрами ND, PN и SN, уложенного на заданной глубине в заданном грунте и с заданным материалом засыпки.

Предполагается, что значения ND и SN, а также пиковое давление (давление гидравлического удара) определены ранее путем гидравлического расчета при соответствующих исходных данных.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Используемые в проектном расчете исходные данные сведены в таблицу:

Условия и параметры для проектного расчета

Условия и параметры	Значения	Примечание
Условия проектирования		
Номинальный диаметр трубы, ND , мм.	900	
Рабочее давление P_p , ат (МПа)	8 (0,784)	
Пиковое давление P_T , ат (МПа)	3,87 (0,38)	
Вакуум $P_{\text{вак}}$, ат (МПа)	0,56 (0,06)	
Глубина прокладки H , м (мин. – макс.)	1,22 – 2,43	
Нагрузка колеса G , кгс (Н)	7 257 (71 172)	
Удельный вес грунта γ_{TP} , кгс/м ³	2 018	
Рабочая температура, °С	0 ÷ 40	
Свойства естественного грунта на глубине укладки трубы	плотный илистый песок	
Модуль естественного грунта, E'_n , МПа	69	
Максимальная высота столба воды над верхней поверхностью трубы H_B , м.	1,52	
Минимальная высота столба воды над верхней поверхностью трубы H_B , м.	0,3	
Базис для HDB и S_b	деформация, мм/мм.	
Свойства трубы		
Класс давления P_c , ат (МПа)	10 (0,98)	
Толщина структурной стенки δ_{cs} , мм.	13,49	
Толщина лайнера δ_{lc} , мм.	1,02	
Общая толщина стенки $\delta_{o\omega}$, мм.	13,51	
Жесткость трубы, SN , $F/\Delta y$, Па	5 000	
Окружной модуль на растяжение E_H , МПа	12 411	
Окружной изгибный модуль упругости E , МПа	13 100	
HDB	0,0064	
S_b	0,0115	
Средний диаметр d_{cp} , мм.	910,35	
Параметры установки		
Описание грунта зоны установки трубы (засыпки)	слабо уплотненный глинистый песок	
Ширина траншеи $B_{тр}$, мм.	1 500	
Коэффициент формы D_f	5,5	
Модуль грунта обратной засыпки E'_b , МПа	7	
Коэффициент постели K_χ	0,1	
Коэффициент запаздывания прогиба D_L	1,1	
Максимально допустимая деформация, $\delta d/d_{cp}$	0,05	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Порядок проверки параметров трубопровода по предельным состояниям, обычно применяемый в процессе проектирования, включает в себя следующую последовательность вычислений.

1. Проверка класса давления (номинального давления) и внутренних давлений.

1.1. Проверка класса давления на основе гидростатического проектного базиса HDB, используя уравнение (14):

$$P_C = \left(\frac{HDB_{деф}}{SF} \right) \times \left(\frac{2E_H \times \delta_{cc}}{d_{cp}} \right); \quad P_C = \left(\frac{0,0064}{1,8} \right) \times \left(\frac{2 \times 12411 \times 12,5}{910,3} \right) = 1,21 \text{ МПа}$$

Вычисленный класс давления, определяющий долговременные прочностные свойства трубы, превышает проверяемый класс давления (номинальное давление), т.е. эта проверка дает положительный результат: **1,21 МПа ≥ 0,98 МПа**.

2.1. Проверка класса давления (номинального давления) по внутреннему и пиковому давлению с использованием формулы (14б):

$$P_c \geq \frac{P_p + P_r}{1,4}; \quad P_c \geq \frac{0,78 + 0,38}{1,4} = 0,83 \text{ МПа}$$

Класс давления трубы (номинальное давление) превышает, сумму рабочего и пикового давлений, уменьшенных на 40%, т.е. эта проверка дает положительный результат: **0,83 МПа ≤ 0,98 МПа**

2. Определение максимально допустимого долговременного вертикального прогиба трубы, зависящего от физико-механических свойств трубы.

Определение максимально допустимого прогиба необходимо для последующей проверки расчетного прогиба, который должен быть меньше максимально допустимого. Максимально допустимый прогиб определяется с использованием формулы (18):

$$\varepsilon_b = D_f \left(\frac{\Delta y_a}{d_{cp}} \right) \times \left(\frac{\delta_o}{d_{cp}} \right) \leq \frac{S_b}{FS}, \text{ откуда} \quad \Delta y_a = \frac{S_b}{FS} \times \left(\frac{d_{cp}}{\delta_o} \right) \times \left(\frac{d_{cp}}{D_f} \right)$$

$$\Delta y_a = \frac{0,0115}{1,5} \times \left(\frac{910,3}{13,51} \right) \times \left(\frac{910,3}{5,5} \right) = 85,5 \text{ мм или } 9,4 \% \text{ (в процентах к } d_{cp}\text{)}.$$

Принимаемое в пределах 5% (п. 3.2.18.) уменьшение диаметра трубы по вертикали от внешних нагрузок и установленная производителем допустимая деформация $\delta d / d_{cp}$ меньше

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

рассчитанного максимально допустимого долговременного прогиба: $5\% \leq 9,4\%$, т.е. результат этой проверки положительный.

3. Определение внешних нагрузок, необходимое для последующего определения расчетной деформации в соответствии с формулой (19):

$$\frac{\Delta y}{d_{cp}} = \frac{(D_L \times W_{GP} + W_D) K_x}{0,149SN + 0,061E'} \times 100\%.$$

Вычисляем все параметры, входящие в формулу (19).

3.1. Определение нагрузки от грунта (точнее, давления, оказываемого грунтом на единицу площади) для максимальной а) и минимальной б) глубин прокладки трубопровода с использованием формулы (21):

$$W_{GP} = \gamma_{GP} \times H_{GP} \times d_n \quad W_{GP} = \gamma_{GP} \times H_{GP} \quad \begin{array}{l} \text{а) } W_{GP} = 2018 \times 2,43 = 48\,133 \text{ Па,} \\ \text{б) } W_{GP} = 2018 \times 1,22 = 24\,066 \text{ Па.} \end{array}$$

3.2. Определение динамической нагрузки по формулам (22), (23), (24), (25).

$$W_D = \frac{G \cdot I_F}{L_1 \cdot L_2} \quad \begin{array}{l} \text{а) } W_D = \frac{71172 \times 1}{4,51 \times 2,20} = 7\,190 \text{ Н/м}^2 \text{ (Па)} \\ \text{б) } W_D = \frac{71172 \times 1}{2,38 \times 1,93} = 15\,494 \text{ Н/м}^2 \text{ (Па)} \end{array}$$

$$L_1 = l_1 + 1,75H \quad \begin{array}{l} \text{а) } L_1 = 0,25 + 1,75 \times 2,43 = 4,51 \text{ м} \\ \text{б) } L_1 = 0,25 + 1,75 \times 1,22 = 2,38 \text{ м.} \end{array}$$

$$L_2 = (13,31 + 1,75H)/8 \quad \begin{array}{l} \text{а) } L_2 = (13,31 + 1,75 \times 2,43)/8 = 2,20 \text{ м} \\ \text{б) } L_2 = (13,31 + 1,75 \times 1,22)/8 = 1,93 \text{ м} \end{array}$$

3.3. Определение комбинированного модуля реакции грунта с использованием формулы (19а):

$$E' = S_C \times E'_b \quad E' = 1,94 \times 6,9 = 13,39 \text{ МПа.}$$

Комбинированный модуль реакции грунта E' , Мпа, определяется с использованием таблиц 6, 7 и 8.

S_C определяется из таблицы 6 при рассчитанных значениях E'_n/E'_b и B_{mp}/d_H , которые в данном случае равны:

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

$E'_n/E'_b = 69/6,9 = 10$, $B_{mp}/d_H = 1500/910,3 = 1,65$ (здесь наружный диаметр трубы можно принять, равному среднему диаметру. Тогда путем интерполирования значений в таблице 6 S_C принимаем равным 1,94.

3.4. Определяем расчетную деформацию трубы по формуле (19) для двух вариантов глубины прокладки а) $H = 2,43$ м и б) $H = 1,22$ м):

$$\frac{\Delta y}{d_{cp}} = \frac{(D_L \times W_{ГП} + W_D) K_x}{0,149 S N + 0,061 E'} \times 100\% \quad \text{а) } \frac{\Delta y}{d_{cp}} = \frac{(1,1 \times 48,33 + 7190) \times 0,103}{0,149 \times 5000 + 0,061 \times 13386000} \times 100\% = 0,76\%$$
$$\text{б) } \frac{\Delta y}{d_{cp}} = \frac{(1,1 \times 24066 + 15494) \times 0,103}{0,149 \times 5000 + 0,061 \times 13386000} \times 100\% = 0,53\%$$

Проверка расчетной деформации по допустимым деформациям для обоих вариантов глубины прокладки трубопровода дает положительный результат:

а) $0,76\% \leq 5,00\% \leq 9,4\%$

б) $0,53\% \leq 5,00\% \leq 9,4\%$

4. Проверка деформации при комбинированной нагрузке: 1. – по условию проверки деформации, вызванной внутренним давлением (формула (26)) и 2. – по условию проверки изгибной деформации, вызванной максимальной допустимой деформацией (формула (27)).

4.1. Формула (26):
$$\frac{\varepsilon_{\partial\partial}}{HDB_{\partial\partial\partial}} \leq \frac{1 - \left(\frac{\varepsilon_b r_c}{S_b} \right)}{FS_{\partial\partial}}$$

Вычисляем все параметры, необходимые для проверки этого неравенства:

$$\varepsilon_{\partial\partial} = \frac{P_p \times d_{cp}}{2\delta_{cc} E_H} \quad \varepsilon_{\partial\partial} = \frac{0,784 \times 910,3}{2 \times 12,49 \times 12411} = 0,0023$$

$$\varepsilon_b = D_f \left(\frac{\delta d}{d_{cp}} \right) \times \left(\frac{\delta_o}{d_{cp}} \right) \quad \varepsilon_b = 5,5 \times (0,05) \times \left(\frac{13,51}{910,3} \right) = 0,0041$$

$$r_c = 1 - \frac{P_p}{3} \quad r_c = 1 - \frac{0,78}{3} = 0,74$$

Вычисляем левую и правую части формулы (26):

$$\frac{0,0023}{0,0064} = 0,36 \quad \frac{1 - \left(\frac{0,0041 \times 0,74}{0,0115} \right)}{1,8} = 0,41$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

$$4.2. \text{ Формула (27): } \frac{\varepsilon_b r_c}{S_b} \leq \frac{1 - \left(\frac{\varepsilon_{\text{вд}}}{HDB_{\text{деф}}} \right)}{FS_b}$$

Вычисляем левую и правую части формулы (27):

$$\frac{0,0041 \times 0,74}{0,0115} = 0,26 \qquad \frac{1 - \left(\frac{0,0023}{0,0064} \right)}{1,5} = 0,43$$

4.3. Проверяем деформации при комбинированной нагрузке:

$$0,36 \leq 0,41 \text{ и } 0,26 \leq 0,43$$

Проверка деформаций при комбинированной нагрузке дает положительный результат.

5. Проверка на потерю устойчивости по формуле (35). Общее расчетное значение внешних нагрузок должно быть меньше или равным допустимому давлению, вызывающему вдавливание (потерю устойчивости) Вначале определяем допустимое давление:

$$q_{\text{дон}} = \frac{1}{FS} [32R_B \times B' \times E' \times SN]^{0,5}$$

Предварительно необходимо вычислить параметры R_B и B' для двух заданных вариантов по глубине прокладки: для $H = \text{а) } - 2,43 \text{ м}$ и $\text{б) } - 1,22 \text{ м}$, при этом, соответственно, максимальная высота столба воды над верхней поверхностью трубы $H_B = 1,52 \text{ м}$ и $0,30 \text{ м}$.

$$R_B = 1 - 0,33 \frac{H_B}{H} \qquad B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0,213H}}$$

$$\text{а) } R_B = 1 - 0,33 \frac{1,52}{2,43} = 0,793 \qquad \text{б) } R_B = 1 - 0,33 \frac{0,30}{1,22} = 0,917$$

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \times 2,718^{-0,213 \times 2,43}} = 0,296 \qquad B' = \frac{1}{1 + 4 \times 2,718^{-0,213 \times 1,22}} = 0,245$$

$$\text{а) } q_{\text{дон}} = \frac{1}{2,5} [32 \times 0,793 \times 0,296 \times 13386000 \times 5000]^{0,5} = 283\,466 \text{ Па}$$

$$\text{б) } q_{\text{дон}} = \frac{1}{2,5} [32 \times 0,917 \times 0,245 \times 13386000 \times 5000]^{0,5} = 277\,320 \text{ Па}$$

6. Определяем расчетное давление для данного варианта при двух глубинах укладки трубы по формуле (37):

$$q_{\text{расч}} = \gamma_B \times H_B + R_B \left(\frac{W_{\text{ГР}}}{d_n} \right) + P_{\text{вак}} \text{ или на единицу поверхности } q_{\text{расч}} = \gamma_B \times H_B + R_B W_{\text{ГР}} + P_{\text{вак}}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

а) $H = 2,43$ м. $q_{расч} = 9810 \times 1,52 + 0,793 \times 48133 + 55168 = 108\,298$ Па

б) $H = 1,22$ м. $q_{расч} = 9810 \times 0,30 + 0,917 \times 24066 + 55168 = 80\,234$ Па

7. Определяем расчетное давление при действии нагрузки от грунта и динамической нагрузки по формуле (38):

$$q_{расч} = \gamma_B \times H_B + R_B \left(\frac{W_{ГР}}{d_n} \right) + \left(\frac{W_D}{d_n} \right) \text{ или на единицу поверхности } q_{расч} = \gamma_B \times H_B + R_B W_{ГР} + W_D$$

а) $H = 2,43$ м. $q_{расч} = 9810 \times 1,52 + 0,793 \times 48133 + 7190 = 60\,319$ Па

б) $H = 1,22$ м. $q_{расч} = 9810 \times 0,30 + 0,917 \times 24066 + 15494 = 40\,560$ Па

8. Сравниваем полученные расчетные давления с определенными ранее допустимыми давлениям для двух глубин прокладки трубопровода

Для $H = 2,43$ м, внутреннее давление + грунтовые воды + вакуум

$$108\,289 \leq 283\,446$$

внутреннее давление + грунтовые воды + динамическая нагрузка

$$60\,319 \leq 283\,446$$

Для $H = 1,22$ м, внутреннее давление + грунтовые воды + вакуум

$$80\,234 \leq 277\,320$$

внутреннее давление + грунтовые воды + динамическая нагрузка

$$40\,560 \leq 277\,320$$

Все результаты проверок расчетов на устойчивость трубопровода положительны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все расчетные показатели спроектированного трубопровода полностью удовлетворяют проверкам на допустимые деформации и допустимые нагрузки.

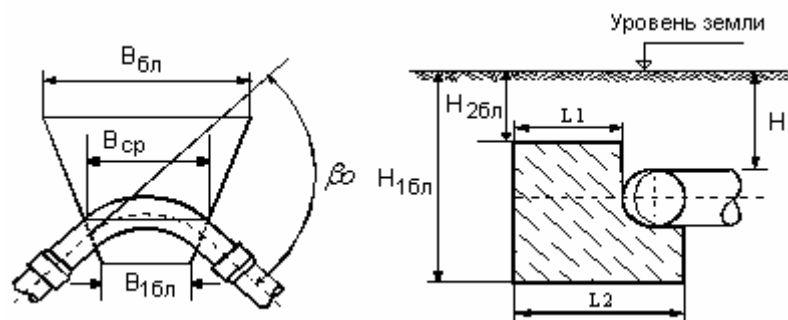
Пример расчета анкерного блока

В качестве примера рассмотрен анкерный блок установленный в месте расположения отвода на напорном подземном трубопроводе, смонтированного на заданной глубине.

Требуется определить условия, при которых анкерный блок (при заданных параметрах укладки трубопровода) может компенсировать силу от внутреннего (испытательного) давления на участке отвода или проверить габариты анкерного блока, которые обеспечивают эту компенсацию.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчетная схема сооружения анкерного блока показана на рисунке.



Принятые исходные данные:

Трубопровод.

- | | |
|--|--------------------------|
| - номинальный диаметр трубопровода, ND | 1 200 мм; |
| - жесткость трубы, SN | 5 000 Па |
| - рабочее давление, P_p | 3,5 ат ($PN = 4$ атм.); |
| - давление при испытании трубопровода, P_H | 9 ат; |
| - угол отвода (колена), β_o | 90 град.; |
| - глубина укладки, H | 2,0 м |

Данные для расчета габаритов анкерного блока:

- | | |
|--|---------------------------|
| - максимальная ширина анкерного блока, $B_{бл}$ | 4,27 м; |
| - минимальная ширина анкерного блока, $B_{1бл}$ | 1,87м; |
| - ширина анкерного блока по диаметру трубы, $B_{сп}$ | 2,53м; |
| - расстояние от уровня земли до основания бетонного блока $H_{1бл}$ | 4,27м; |
| - расстояние от уровня земли до верхней поверхности бетонного блока, $H_{2бл}$ | 1,33м; |
| - длина верхней поверхности анкерного блока, L_1 | 2,27м; |
| - длина нижней поверхности анкерного блока, L_2 | 3,07м; |
| - объем анкерного блока, $I_{бл}$ | 24,42 м ³ ; |
| - удельный вес бетона, $\gamma_{бл}$ | 24 000 Н/м ³ ; |
| - объем грунта над анкерным блоком, $I_{гр}$ | 8,19 м ³ . |

Грунт: сухой грунт, для которого.

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| - угол трения, $\varphi_{тр}$ | 40 град.; |
| - удельный вес грунта, $\gamma_{гр}$ | 20 000 Н/м ³ ; |
| - коэффициент трения, f | 0,7 |

Процедура проверки включает в себя следующие вычисления:

1. Определяем силу, действующую в направлении угла биссектрисы отвода по формуле (51):

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

$$F_{оме} = 2P_H \times \omega \times \sin\left(\frac{\beta_o}{2}\right) \quad F_{оме} = 2 \times 539216 \times 3,14 \times \frac{0,5964^2}{4} \times \sin\left(\frac{1,571}{2}\right) = 1\,384\,499 \text{ Н}$$

(здесь значение внутреннего диаметра трубы берется из Технических условий на данную трубу)

- 2. Определяем пассивную реакцию грунта, действующую против анкерного бетонного блока по формуле (50):**

$$T_{ГР} = 0,5 \cdot \gamma_{ГР} (H_{1бл}^2 - H_{2бл}^2) B_{бл} \cdot tg^2\left(45 + \frac{\varphi_{mp}}{2}\right)$$

$$T_{ГР} = 0,5 \cdot 20000 \times (4,27^2 - 1,33^2) \times 4,27 \times tg^2(45 + 20) = 2\,563\,943 \text{ Н}$$

- 3. Определяем силу трения, действующую на анкерный блок по формуле (53):**

$$F_{mp} = (I_{бм} \times \gamma_{бм} + I_{ГР} \times \gamma_{ГР}) \times f \quad F_{mp} = (24,42 \times 24000 + 8,19 \times 20000) \times 0,7 = 524\,822 \text{ Н}$$

- 4. Согласно уравнению (54) проверяем условие равновесия сил, при котором не возникает перемещений трубопровода в месте расположения отвода при действии испытательного давления:**

$$F_{mp} + T_{ГР} \geq 1,5 \times F_{оме}$$

$$3\,088\,765 \text{ Н} \geq 2\,076\,748 \text{ Н}$$

По результатам расчета проверяемый анкерный блок с избытком компенсирует силу, возникающую в отводе напорного трубопровода при действии испытательного давления.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПЕРЕЧЕНЬ

ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

допускаемых для транспортирования в стеклопластиковых трубах,
производства ООО «НТТ»

В следующей таблице приводится список наиболее используемых химических соединений с указанием пределов концентрации и температур. Эти данные были собраны на основе практических данных и/или лабораторных испытаний.

ХИМИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ	Химическая формула	Концен- трация, %	Смолы		
			Изофта- левая	Винил- эфирная темп.	Винилэ фирная высок. темп.
<i>Уксусная кислота</i>	CH ₃ COOH	10	40	100	100
	CH ₃ COOH	25	25	100	100
	CH ₃ COOH	75		65	65
	CH ₃ COOH	100			40
Ацетон	CH ₃ COCH ₃	10			80
Сульфат алюминия	Al ₂ (SO ₄) ₃	Все	50	100	120
Фторид аммония	NH ₄ F	Все		65	65
Аммиак водный р-р	NH ₄ OH	10÷20		65	65
Нитрат аммония	NH ₄ NO ₃	Все	25	100	120
Сульфат аммония	(NH ₄) ₂ SO ₄	Все	50	100	120
Амиловый спирт	C ₅ H ₁₁ OH	Все	25	50	100
Анилин	C ₆ H ₅ NH ₂	100			20
Хлорид бария	BaCl ₂	Все	50	100	100
Бензальдегид	C ₂ H ₅ CHO	100			20
Бензол	C ₆ H ₆	100			40
Бензойная кислота	C ₆ H ₅ COOH	Все	40	100	100
Борная кислота	H ₃ BO ₃	Все	50	100	100
Бром - газ	Br ₂	Все		40	40
Бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	Все			30
Бутанол	C ₄ H ₉ OH	Все	25	50	50
Масляная кислота	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	25÷50		100	100
	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	100		30	50
Хлорат кальция	Ca(ClO ₃) ₂	Все	50	100	120
Хлорид кальция	CaCl ₂	Все	50	100	120

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ХИМИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ	Химическая формула	Концен- трация, %	Смолы		
			Изофта- левая	Винил- эфирная темп.	Винилэ фирная высок. темп.
Гидрохлорид кальция	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Все		80	
Углекислый газ	CO_2		60	100	180
Четыреххлористый углерод	CCl_4	100		65	80
Хлор	Cl_2			100	120
Диоксид хлора	ClO_2	Все		65	65
Хлорная вода	HOCl	Все		80	100
Хлоруксусная кислота	CH_2ClCOOH	25		50	50
	CH_2ClCOOH	50		40	40
Хлористый бензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	100			40
Хлороформ	CHCl_3	100			
Хромовая кислота	H_2CrO_4	10		65	65
Лимонная кислота	$\text{HO}(\text{CH}_2\text{COOH})_2\text{COOH}$	Все	50	100	100
Хлорид меди(II)	CuCl_2	Все	50	100	120
Цианид меди	CuCN	Все		100	100
Сульфат меди	CuSO_4	Все	50	100	120
Сырая нефть(мазут)			50	100	120
Дибутилфталат	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOC}_4\text{H}_9)_2$	100			
Дихлорбензол	$(\text{C}_6\text{H}_4)\text{Cl}_2$	100			50
Дизельное топливо		100	35	80	100
Диэтиленгликоль	$\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	100	50	80	100
Диэтилфталат	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$	100			
Диметилфталат	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$	100	50	65	80
Этиловый спирт(этанол)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Все	25	30	40
Хлористый этил	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	100			30
1,2-дихлорэтан	$(\text{CH}_2)_2\text{Cl}_2$	100			30
Этиленгликоль (1,2- этандиол)	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	100	50	100	100
Жирные кислоты (насыщенные)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$	Все	50	100	120
Хлорид железа (III)	FeCl_3	Все	50	100	100
Нитрат железа(III)	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	Все	40	100	100
Сульфат железа (III)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	Все	50	100	100
Хлорид железа (II)	FeCl_2	Все	40	100	100
Нитрат железа(II)	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	Все	40	100	100
Сульфат железа (II)	FeSO_4	Все	50	100	100
Фтор (газ)	F_2			30	30
Муравьиная кислота (метановая)	HCOOH	10		80	80
	HCOOH	100			40
Бензин			25	80	80

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ХИМИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ	Химическая формула	Концентрация, %	Смолы		
			Изофта-левая	Винил-эфирная темп.	Винилэ-фирная высок. темп.
Глицерин (1,2,3 пропантриол)	$\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$	100	60	100	100
Гептан	C_7H_{16}	100	25	100	100
Хлорид водорода (соляная кислота)	HCl	10	40	80	110
	HCl	20	25	80	110
	HCl	37		40	80
Фторид водорода	HF	10		65	65
Фторид водорода	HF	20		40	40
Перекись водорода	H_2O_2	30		65	65
Сероводород	H_2S	100		80	100
Изопропиловый спирт	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	Все	25	50	50
Керосин		100	25	80	80
Молочная кислота	$\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$	Все		100	100
Ацетат свинца	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$	Все	50	100	110
Льняное масло		100	60	100	110
Хлорид магния	MgCl_2	Все	50	100	120
Сульфат магния	MgSO_4	Все	50	100	120
Ртут (I)хлорид	Hg_2Cl_2	Все	50	100	100
Ртут (II)хлорид	HgCl_2	Все	50	100	100
Метанол	CH_3OH	100			40
Нефть		100	25	80	100
Хлорид никеля	NiCl_2	Все	50	100	100
Нитрат никеля	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	Все	50	100	100
Сульфат никеля	NiSO_4	Все	50	100	100
Азотная кислота	HNO_3	5		65	80
	HNO_3	20		50	65
Нитробензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	100			40
Олеиновая кислота	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	Все	50	100	95
Щавелевая кислота	$(\text{COOH})_2$	Все	30		
Перхлорная кислота	HClO_4	30		40	40
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	88			20
Фосфорная кислота	H_3PO_4	10	50	100	100
	H_3PO_4	20	50	100	100
	H_3PO_4	50	25	100	100
	H_3PO_4	80		100	100
Фталевый ангидрид	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O}$	Все	40	100	100
Бикарбонат калия	KHCO_3	50		80	80
Карбонат калия	K_2CO_3	10÷ 25		65	65
Хлорид калия	KCl	Все	50	100	100
Бихромат калия	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Все		100	100
Железосинеродистый калий	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Все	50	100	100

«Новые Трубные Технологии»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ НАМОТКИ

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ХИМИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ	Химическая формула	Концен- трация, %	Смолы		
			Изофта- левая	Винил- эфирная темп.	Винилэ- фирная высок. темп.
Фероцианид калия трехводный (соль железосинеродистой кислоты)	$K_4(Fe(CN)_6) \cdot 3H_2O$	Все	50	100	100
Нитрат калия	KNO_3	Все		100	100
Перманганат калия	$KMnO_4$	Все		100	100
Сульфат калия	K_2SO_4	Все	50	100	100
Пропиленгликоль	$CH_3CH(OH)CH_2OH$	Все	50	100	100
Нитрат серебра	$AgNO_3$	Все	25	100	100
Ацетат натрия	CH_3COONa	Все	50	100	100
Бикарбонат натрия	$NaHCO_3$	Все	50	80	80
Карбонат натрия	Na_2CO_3	15:20		80	80
Цианид натрия	$NaCN$	Все		100	100
Гидроксид натрия	$NaOH$	5 ÷ 10		100	100
Хипохлорит натрия	$NaOCl$	5,25		80	
Нитрат натрия	$NaNO_3$	Все	50	100	100
Сульфат натрия	$NaSO_4$	Все	50	100	100
Сульфид натрия	Na_2S	Все		100	100
Олова II хлорид	$SnCl_2$	Все	50	100	100
Олова IV хлорид	$SnCl_4$	Все	50	100	100
Стеариновая кислота	$C_{17}H_{35}COOH$	Все	40	100	100
Диоксид серы	SO_2		60	100	120
Серная кислота	H_2SO_4	10	45	100	100
	H_2SO_4	50	45	90	90
	H_2SO_4	70		80	80
	H_2SO_4	80		40	50
Дубильная кислота	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Все	40	100	100
Толуол (метилбензол)	$C_6H_5CH_3$	100		30	50
Фосфат натрия	$Na_3(PO_4)_2$	Все		100	120
Деминерализирован- ная вода	H_2O		50	80	80
Дистиллированная вода	H_2O		50	80	80
Морская вода	H_2O		50	80	80
Ксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$	100	25	30	50
Хлористый цинк	$ZnCl_2$	70	50	100	155
Сульфат цинка	$ZnSO_4$	Все	50	100	120

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

КОЛОДЦЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ ТРУБЫ «НТТ-П/АСВ»

ОАО «СОЮЗВОДОКАНАЛПРОЕКТ»
Главный инженер проекта, к.т.н.

 **Л.Г. Дерюшев**

ООО «Новые Трубные Технологии»
Технический директор

 **Е.В. Сидоров**

2007 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Исполнители:

Инженер 1 категории

С.Ю. Николаев

Инженер 1 категории

Е. Г. Фролова

Инженер 1 категории

А.Ю. Баранов

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

СОСТАВ

Альбом 1 – Пояснительная записка

Альбом II - Колодцы круглые для труб D150-1500 мм

Альбом III - колодцы круглые для дюкеров труб D150-400 мм

Альбом IV- колодцы перепадные для труб D150-600 мм

Альбом V- строительные изделия

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Общая часть

Колодцы на трубопроводах систем канализации располагают в местах изменения диаметров и уклонов, на поворотах, при устройстве присоединений других трубопроводов, а также на прямолинейных участках через 35 - 300 м (в зависимости от диаметра трассы).

Колодцы подразделяются на: *смотровые, перепадные, колодцы для дюкеров.*

В плане колодцы могут быть круглые, прямоугольные и полигональные.

Настоящими Техническими рекомендациями (ТР) предлагаются круглые колодцы из стеклопластиковых труб «НТТ-П/АСВ» для средних статических и динамических нагрузок диаметром: 1000, 1600, 2000, 2600 мм. ТР предшествовали расчеты на прочность и испытания колодцев.

При разработке ТР по изготовлению колодцев из стеклопластиковых труб «НТТ-П/АСВ» учтены требования нормативных документов: СНиП 2.04.03-85, ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.044-89, ГОСТ 12.3.030-83, ГОСТ 12.4.121-83, ГОСТ 17.2.3.02-78, ГОСТ 166-89, ГОСТ 427-75, ГОСТ 15150-69, ГОСТ 18599-2001, ГОСТ 22235-76, ГОСТ 26653-90, ГОСТ 8020, типовые альбомы 901-09-22.82 «Колодцы канализационные».

2. НАРУЖНЫЕ СЕТИ КАНАЛИЗАЦИИ

2.1. СМОТРОВЫЕ КОЛОДЦЫ

По назначению смотровые колодцы применяются как линейные, поворотные и узловые.

Колодцы разработаны для труб $D_y = 150-1600$ мм.

Поворотные колодцы разработаны с углами поворота $15^\circ \div 90^\circ$. Допустимый радиус поворота по оси лотка принимается не менее одного диаметра трубопровода.

2.2. УЗЛОВЫЕ КОЛОДЦЫ

Узловые колодцы разработаны с одним и двумя присоединениями для труб указанного диапазона.

Высота рабочей части колодцев принята: 900, 1200, 1500, 1800, 2100, диаметр горловины 700 мм, люки по ГОСТ 3634.

Увеличенные размеры горловин (круглые – диаметром 1000 и 1600 мм) предусматриваются для прочистки трубопроводов на сети.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

2.3. КОЛОДЦЫ ДЛЯ ДЮКЕРОВ

Разработанные колодцы для канализационных дюкеров применяются:

- для самотечных коллекторов диаметром 200-600 мм с диаметром дюкера 150-400 мм;
- для самотечных коллекторов диаметром 200-600 мм с аварийным выпуском и диаметром дюкера 150-400 мм;
- для напорных коллекторов диаметром 250-400 мм с диаметром дюкера 150-250 мм.

Дюкер состоит из двух линий трубопроводов, диаметры которых определяются исходя из пропуска расчетного расхода сточной жидкости по каждой линии.

Дюкер состоит из двух камер: входной и выходной.

Входная камера дюкера на самотечном коллекторе состоит из двух отделений, расположенных в отдельных колодцах.

В первом отделении подводящий лоток разветвляется на два открытых лотка с переходом в закрытые трубопроводы.

На лотках установлены щитовые затворы, позволяющие при необходимости переключать сточные воды на резервную линию.

Во втором отделении на закрытых трубопроводах устанавливаются задвижки для отключения трубопровода на ремонт.

В выходной камере размещаются открытые лотки, переходящие в самотечный коллектор. На лотках установлены щитовые затворы.

Дюкер для самотечного коллектора с аварийным выпуском разработан аналогично, только в выходную камеру входит один трубопровод, переходящий в лоток, к которому присоединяется самотечный коллектор.

При устройстве дюкера на напорном коллекторе во входной камерах размещаются трубопроводы с задвижками для переключения. Высота рабочей части принята 1800 мм, считая:

- от полки лотков до низа плиты перекрытия – при самотечном поступлении сточных вод;
- от дна колодца до низа плиты перекрытия.

Горловина в колодцах принимается диаметром 700 мм, люк по ГОСТ 3634.

2.4. ПЕРЕПАДНЫЕ КОЛОДЦЫ

Перепадные колодцы разработаны для труб диаметром 150-600 мм. Запроектированы круглые колодцы из труб диаметром 1600-2600 мм с перепадным устройством в виде вертикальных стенок – растекателей с водобойным колодцем в основании.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Разработаны перепадные колодцы для труб диаметром 150-350 мм с боковым присоединением труб диаметром 150-350 мм. Горловина колодцев принимается диаметром 700 мм, люк по ГОСТ 3634. В рабочей камере колодцев перепадом выше 1,5 м на расстоянии 2 м от низа плиты перекрытия предусматриваются 4-8 скоб для установки временного настила.

3.АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

3.1. УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Условия строительства приняты в соответствии с СН 227-82 п.2.3. Проектные решения колодцев разработаны для строительства в районах со следующими природными и климатическими данными:

- сейсмичность района – не выше 6 баллов;
- расчетная зимняя температура наружного воздуха – минус 20оС, 30оС, 40оС;
- рельеф территории – спокойный;
- грунты в районе строительства колодцев предусмотрены следующие:

а) сухие, непученистые грунты естественной влажности со следующими нормативными характеристиками:

$$\gamma^H=1,8 \text{ т/м}^3; \varphi^H=32^\circ, C^H=2\text{кПа} (0,02 \text{ кгс/см}^2);$$

б) мокрые грунты со следующими нормативными характеристиками:

$$\gamma^H=2 \text{ т/м}^3; \varphi^H=23^\circ-38^\circ, e=0,65\div 0,7 \text{ } C^H=1\text{кПа} (0,01 \text{ кгс/см}^2).$$

Максимальный уровень грунтовых вод в уровне низа плиты перекрытия колодцев.

Грунтовые воды и сточная жидкость не агрессивны к материалам колодцев.

в) просадочные грунты (грунтовые условия I и II типов по просадочности).

Во всех случаях нормативные характеристики грунтов в основании колодцев должны отвечать условию, чтобы среднее давление по подошве колодца от нормативных нагрузок не превышало расчетного давления на основание R , определенного по формуле (7) СНиП 2.02.01-83, которое во всех случаях не должно быть менее 0,1 МПа (1,0 кгс/см²).

В настоящих проектных решениях не рассматриваются особенности строительства в районах вечной мерзлоты, на плавунах, торфянистых и других слабых грунтах, в условиях оползней, осыпей, карстовых явлений и т.д.

Круглые колодцы предназначены для применения на сетях и коллекторах хозяйственно-бытовой и производственной систем водоотведения диаметром 150-1600 мм.

При этом колодцы без дорожной плиты устраиваются только в зеленой зоне.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

3.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

Круглые канализационные колодцы состоят из плиты днища, лотковой части, рабочей части, перекрытия и горловины с люком.

Рабочая часть высотой 900, 1200, 1500, 1800 и 2100 составляется из труб «НТТ-П/ АСВ» диаметром 1000, 1600 и 2600 мм.

Круглые колодцы для канализационных дюкеров $D_y = 150 \div 400$ мм состоят из плиты основания, лотковой части, рабочей части, перекрытия и горловины с люком.

Круглые перепадные канализационные колодцы состоят из основания, лотковой части, рабочей части, перекрытия, горловины с люком и стенкой растекателем.

Рабочая часть высотой 1800 и 2100 составляется из труб «НТТ-П/ АСВ» диаметром 1600 и 2600 мм.

В зависимости от перепада на трубопроводе рабочая часть (H_p) может быть высотой: от 1200 до 4500 мм.

Стенка – растекатель выполняется по чертежам настоящих ТР.

Для всех видов колодцев лотковая часть может выполняться из монолитного бетона марки 200 или из стеклопластика.

Устройство бетонного лотка осуществляется по специальным шаблонам, с последующей затиркой поверхности лотка и его полок цементно-песчаным раствором и железнением.

Горловины разработаны 3-х типов:

1. Круглые нормальные $D=700$ мм - для всех видов колодцев
2. Круглые увеличенные $D=1000$ мм - для всех видов колодцев (кроме дюкерных и перепадных)
3. Круглые увеличенные $D=1600$ мм - для всех видов колодцев.

В зависимости от глубины заложения труб горловины имеют переменные высоты, но не более 4 м (от поверхности грунта до верха рабочей части горловины выполняются и стеклопластиковых труб «НТТ-П/ АСВ» диаметром 700, 1000, 1600 мм.

Все элементы из стеклопластика при монтаже склеиваются между собой (ламинируются).

Конструкции горловин даны на рис. 1 и 2 в конце документа.

Согласно п.4.21 СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», на проезжей части с усовершенствованным покрытием люки должны располагаться в одном уровне с поверхностью проезжей части; на 50-70 мм выше поверхности земли в зеленой зоне на 200 мм выше поверхности земли на незастроенной территории.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Люки колодцев размещенных на застроенных территориях без дорожных покрытий, должны возвышаться над поверхностью земли на 5-7 см; вокруг люка следует предусматривать отсыпку шириной 1 м с уклоном от крышки люка.

В колодцах при соответствующем обосновании следует предусматривать установку вторых утепляющих крышек.

Для спуска в колодец предусмотрены стальные стремянки.

Глубина колодцев от поверхности земли (или планировки) до дна назначается при привязке проекта в зависимости от глубины укладки и уклона трубопровода.

Минимальная толщина засыпки над перекрытием-0,5 м.

Заделка труб в лотковой части колодцев производится в зависимости от грунтовых условий, согласно деталям, приведенным на чертежах проекта.

Гидроизоляция днища колодцев - штукатурная асфальтовая из горячего асфальтового раствора толщиной 10 мм по грунтовке разжиженным битумом.

Пазухи колодцев засыпаются по условиям, определенным в инструкции по монтажу, местными грунтами оптимальной влажности, определяемой по ГОСТ-22733-77. Грунты обратных засыпок должны соответствовать требованиям "Инструкции по устройству обратных засыпок в стесненных местах" СН 536-81, СНиП 3.02.1-87 и СНиП 3.05.03-85. Грунты обратных засыпок должны быть уплотнены до проектной плотности скелета грунта $\gamma_{ск.пр.}$, определяемой по п.1.10 СН 536-81. Уплотнение производится в соответствии с указаниями СНиП 3.05.03-85, СНиП 3.02.01-87 и СН 536-81.

При строительстве колодцев в просадочных грунтах должны соблюдаться требования СНиП 2.02.01-83 "Основания зданий и сооружений", СНиП 2.04.03-85 "Канализация. Наружные сети и сооружения", и СНиП 2.04.02-84* "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения".

Устройство колодцев на канализационных сетях в просадочных грунтах I типа по просадочности должно осуществляться как в обычных непросадочных грунтах.

Для уменьшения величины возможной просадки в основании колодцев в грунтовых условиях II типа по просадочности необходимо осуществить следующие конструктивные и водозащитные мероприятия:

1. Грунты основания под колодцы должны уплотняться трамбованием на глубину I м. Уплотнение следует производить при оптимальной влажности на границе раскатывания грунта W_p . Уплотнение грунта во всех случаях должно производиться до плотности скелета грунта не

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

менее $\gamma_{ск.} = 1,6-1,7 \text{ т/м}^3$, в соответствии с требованиями и указаниями раздела 3 СНиП 3.02.01-83.

2. По уплотненному основанию устраивается бетонная подготовка толщиной 100 мм из бетона марки 50.

3. Бетонные днища колодцев обмазываются горячим битумом за 2 раза по грунтовке из раствора битума в бензине или покрываются флюатом, т.е. обрабатываются водным раствором кремнефтористого магния или кремнефтористоводородной кислоты с образованием на поверхности нерастворимых соединений (стеклопластиковые днища не требуют дополнительной обработки).

4. Отверстия для пропуска труб тщательно заделываются с устройством снаружи водоупорного замка с применением резиновых манжет. Водоупорный замок выполнять с соблюдением требования п.4.24 СНиП III-20-74.

5. Пазухи колодцев должны засыпаться талым глинистым грунтом оптимальной влажности, определяемой по ГОСТ 22733-77, с послойным уплотнением равномерно по периметру слоями толщиной не более 0,2 м до проектной плотности скелета грунта $\gamma_{ск. пр.} \geq 1,6 \text{ т/м}^3$.

6. Поверхность земли вокруг люков колодцев должна быть спланирована с уклоном 0,03 от колодца на 0,3 м шире пазух. На спланированной поверхности устраивается отмостка.

3.3. РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Конструкции колодцев рассчитаны на постоянную и временную нагрузки для случаев минимальной и максимальной величины заглубления колодцев.

В качестве постоянных нагрузок приняты:

- - активное боковое давление грунта;
- - масса грунтовой засыпки над перекрытием рабочей части колодцев;
- - собственная масса плиты перекрытия с горловиной и люком (коэффициент перегрузки $n=1,1$)

Характеристики грунтов приняты следующие:

а) для сухих и просадочных грунтов:

- - плотность $\gamma_n = 1,8 \div 2 \text{ т/м}^3$;
- - угол внутреннего трения $\phi_n = 38^\circ$;
- - коэффициент перегрузки $n = 1,15$;

б) для мокрых грунтов

- плотность $\gamma_n = 2,0 \text{ т/м}^3$;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

- угол внутреннего трения $\varphi_n = 23^\circ$;
- коэффициент пористости $e = 0,65 - 0,7$;
- коэффициент перегрузки $n = 1,15$;
- максимальный уровень грунтовых вод принят в уровне низа плиты перекрытия рабочей части.

В качестве временных нагрузок, в соответствии с указаниями СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы", приняты следующие три вида временной подвижной нагрузки:

I вид - равномерно распределенная нормативная нагрузка интенсивностью 4,9 кПа (500 кгс/м²) и случайные заезды автомашин массой 5 т - для колодцев, располагаемых вне дорог, где систематическое движение автомобильного транспорта исключено;

II вид - нагрузка от утяжеленного автомобиля по схеме А-14 для колодцев, расположенных на автомобильных дорогах городов и промышленных предприятий, на которых движение особо тяжелых машин исключено;

III вид - колесная нагрузка по схеме НК-80, НК-176 для колодцев, располагаемых на автомобильных дорогах городов и промышленных предприятий, на которых предусматривается движение особо тяжелых автомашин.

Коэффициент перегрузки для временной нагрузки НК-80, НК-176 принят $n = 1$, для А-14 - принят $n = 1,5$

Динамический характер временных подвижных нагрузок учтен введением коэффициента динамичности, равного 1,3 при заглублении перекрытия менее 1 м. При большем заглублении принят коэффициент динамичности $K = 1,0$.

При подсчете среднего давления по подошве колодца от нормативных нагрузок необходимо учитывать аварийный случай работы - полное заполнение колодца водой при засыпанном котловане. Колодцы не рассчитаны на случай заполнения их водой при открытом котловане.

Несущая способность стеклопластиковых стеновых колец и плит перекрытий принята по максимальной временной нагрузке по схемам А-14, НК-80 и НК-176 при заглублении днища в грунт до 8 м.

3.4. СООБРАЖЕНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ РАБОТ

Строительство колодцев производится одновременно с прокладкой трубопроводных сетей и осуществляется в следующей последовательности:

1. Разбивка трассы траншей, опорных осевых линий колодцев с выносом осей в натуру. Разметка и закрепление контура траншей и границ котлованов для устройства колодцев, границ

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

отвалов грунта, защита котлованов от попадания ливневых вод, установка инвентарных ограждений котлованов.

2. Разработка котлованов.
3. Устройство подготовки, основания и гидроизоляции днища.
4. Бетонирование днища и лотковой части.
5. Укладка труб в лотковую часть и герметизация их.
6. Возведение стен рабочей части.
7. Устройство перекрытия рабочей части.
8. Возведение горловин.
9. Установка люка.
10. Обратная засыпка пазух котлована, планировка площадки вокруг люка с устройством отмотки.

3.4.1. Земляные работы

Перед разработкой котлована производятся все работы, указанные выше в п.1, а также срезка растительного слоя.

Размеры котлована по дну назначаются в зависимости от габаритов колодца и способа производства работ и зависят от глубины заложения колодца и вида грунта. Способы разработки котлована и планировки дна должны исключать нарушение естественной структуры грунта основания.

На время производства земляных работ в мокрых грунтах следует обеспечить постоянный водоотлив, в сухих грунтах - водоотвод.

По окончании работ основание подлежит приемке представителем заказчика с составлением акта. Обратная засыпка котлована грунтом и его уплотнение осуществляется в соответствии с требованиями, изложенными в разделе "Конструктивные решения".

Земляные работы должны выполняться с соблюдением требований глав СНиП 3.02.01-83, СНиП 3.05.03-85.

3.4.2. Устройство подготовки и гидроизоляции

Бетонная подготовка под днище для колодцев в просадочных грунтах устраивается после приемки основания.

Бетонирование днища и лотковой части осуществляется после установки опалубки и арматуры. Способ подачи бетонной смеси должен исключать возможность расслаивания бетона. Устройство лотковой части производится по специальным шаблонам. Уложенная бетонная смесь уплотняется вибраторами. Приемка работ по устройству днища и лотковой

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

части оформляется соответствующим актом. Бетонные и арматурные работы должны выполняться с соблюдением требований главы СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений».

3.4.3. Возведение стен рабочей части

Монтаж рабочей части колодца разрешается производить по достижении бетона основания колодца 70% проектной прочности.

Перед установкой сборных элементов отметки опорных площадок должны быть проверены, отклонения их не должно превышать допустимых значений.

Сборные элементы горловин и рабочей части устанавливаются по уровню. При монтаже необходимо соблюдать требования глав СНиП 3.03.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия» и СНиП 3.01.04-87. «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения», СНиП 3.05.03-85 «Водоснабжение, канализация и теплоснабжение. Наружные сети и сооружения» и СНиП 3.01.04-87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительных работ».

4. СМЕТНАЯ ЧАСТЬ

Объемы основных конструкций для составления смет

Для определения сметной стоимости канализационных колодцев круглых из стеклопластиковых труб «НТТ-П/ АСВ» исчислены объемы основных конструкций с выделением объемов лотков, которые помещены в технологические таблицы колодцев.

Объемы основных конструкций составлены на основании чертежей типовых проектных решений. Показатели объемов приведены в зависимости от размеров колодцев в плане, высоты рабочей части, высоты лотков, временной нагрузки и т.д.

Объемы конструкций горловин исчислены на 1 пог. м высоты горловины и включаются дополнительно в объемы основных конструкций.

В сметах дополнительно учитывается:

- стоимость арматуры на лоток;
- стоимость люка;
- устройство отмотки;
- установка и стоимость дорожной плиты КЦО-3 со стабилизированным основанием из песка (для III типа горловины);

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

5. УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

При применении проектных решений колодцев к конкретным климатическим, инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям площадки необходимо руководствоваться указаниями СН 227-82, раздел 6.

Кроме того:

- в зависимости от грунтовых условий, диаметра горловины, материала строительства и глубины заложения лотка устанавливается марка (см. листы раздела АС) и тип колодца;
- в зависимости от назначения колодца и диаметра труб по листам раздела НК определяется марка колодца (его диаметр, конфигурация лотка, высота рабочей части);
- при рабочей части высотой менее 900 мм колодцы следует выполнять по индивидуальному проекту с применением стеклопластиковых труб «НТТ-П/ АСВ»;
- для обслуживания колодцев на трубопроводах диаметром 700 мм и более могут использоваться инвентарные переносные поперечные площадки;
- при уровне грунтовой воды выше низа плиты перекрытия рабочей части колодец необходимо проверить на прочность и на всплытие.

При строительстве канализационных сетей следует, как правило, применять колодцы из стеклопластиковых труб «НТТ-П/ АСВ». При отсутствии стеклопластиковых труб «НТТ-П/ АСВ» и при соответствующем обосновании допускается устройство колодцев из сборных железобетонных изделий и местных материалов.

6. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ КОЛОДЦЕВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Расчеты выполняются в соответствии с требованиями СНиП 2.09.03-85 для проверки прочности перекрытия и стенок рабочей части колодцев из стеклопластиковых труб. Рассматривается экстремальная ситуация, когда диаметр рабочей части колодца 2600 мм, глубина колодца – 8 м, грунт – песчаный, грунтовые воды до поверхности земли, временная нагрузка от НК-80, НК-176 (колесная нагрузка). Перекрытие плиты из стеклопластика рабочей части колодца будет работать на изгиб при вертикальной нагрузке и на изгиб при горизонтальной нагрузке (при условии, что прочность ламинированных стыков деталей колодца равноценны по прочности цельной стенки трубы).

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Определение давления грунта

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов ненарушенного сложения (угол внутреннего трения φ , удельное сцепление c , модуль деформации определяется по СНиП 2.02.01-83.

$$\gamma_{sw}^n = \frac{(\gamma_s^n - \gamma_w^n)}{1 + e} = \frac{2,65 - 1}{1 + 0,68} = 0,98 \text{ т/м}^2,$$

где γ_s^n, γ_w^n - удельный вес соответственно скелета грунта и воды;

$e = 0,68$ – коэффициент пористости грунта.

Допускается, если уплотнение засыпанного грунта выполняется в соответствии с СН 536-81 с коэффициентом уплотнения k_y , не менее 0,95 (что должно быть указано в проекте), то для песчаных грунтов средней крупности:

$$\gamma_1^n = \gamma^n = 2 \text{ т/м}^3, \varphi_i = 0,82 \varphi^n = 0,82 \cdot 38 = 30^\circ,$$

где φ - угол внутреннего трения грунта.

Различают интенсивность вертикального давления грунта p_v на глубине y и интенсивность горизонтального давления грунта p_{hy} , а также давления от временной нагрузки на поверхности p_{hg} и отрицательного давления от сцепления p_{hc} (см. рис. 1 и 2).

Суммарное напряжение от вертикальной нагрузки рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq mR,$$

где M – изгибающий момент в элементе колодца;

$$M = \frac{P_v \cdot l^2}{8},$$

$l = 2,6$ – пролет перекрытия, м;

W – момент сопротивления сечения;

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6},$$

b - ширина поля, воспринимающего нагрузку, см;

h - высота поля или сечения перекрытия, см.

$$M = \frac{9,82 \cdot 2,6^2}{8} = 8,3 \text{ т} \cdot \text{м} = 829790 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

$$W = \frac{100 \cdot 10^2}{6} = 1666,6 \text{ см}^3 = 0,00166 \text{ м}^3$$

Нормативное вертикальное давления грунта при $p_{hc} = 0$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

$$p_v = p_{hy} + p_{v5} + p_w \leq mR,$$

где $p_{hy} = \gamma \cdot h$ - давление от собственного веса грунта;

$$p_{v5} = \frac{785}{a_{y5} b_{y5}} \text{ кН} - \text{интенсивность нормативного вертикального давления от колесной}$$

нагрузки НК-80 при движении ее вдоль сооружения на глубине

$$y_a = \frac{a}{\operatorname{tg} \theta}, \text{ при } a_{y5} = 3,8 + 2a \text{ и } b_{y5} = 3,5 + 2a, \text{ м;}$$

$$p_w = 4,5 \text{ т/м}^2 - \text{давление столба воды (максимальное);}$$

$$m = 0,8 - \text{коэффициент условия работы;}$$

$$R = 10\,000 \text{ т/м}^2 - \text{предел прочности.}$$

При максимальной высоте засыпки колодца $h = 4,5 \text{ м}$,

$$p_{hy} = 4,5 \cdot 0,98 \approx 4,5 \text{ т/м}^2 \approx 0,0441 \text{ МПа}$$

Интенсивность нормативного вертикального давления от колесной нагрузки:

$$p_{v5} = \frac{785}{a_{y5} b_{y5}} = 11,49 \text{ кПа} = 0,010 \text{ МПа}$$

$$a_{y5} = 3,8 + 2a = 3,8 + 2 \cdot 2,597 = 8,994 \text{ м;}$$

$$a = 0,577 \cdot 4,5 = 2,597$$

$$b_{y5} = 3,5 + 2a = 3,5 + 2 \cdot 2,597 = 8,694 \text{ м.}$$

Нормативное вертикальное давления грунта

$$p_v = 0,0441 + 0,01 + 0,0441 = 0,0982 \text{ МПа}$$

$$M = \frac{9,82 \cdot 2,6^2}{8} = 8,3 \text{ т} \cdot \text{м} = 829790 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

$$\sigma = \frac{8,3}{0,00166} = 5000 \text{ т/м}^2 \leq 0,8 \cdot 10\,000$$

Активное горизонтальное давление грунта (максимальное):

$$p_{hy} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 2 \cdot 8 \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - 15^\circ) = 2 \cdot 8 \cdot 0,33 = 5,33 \text{ т/м}^3,$$

где $\theta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ - угол наклона плоскости скольжения к вертикали.

Давление от воды, при наличии грунтовых вод: $p_{hw} = 8 \text{ т/м}^2$.

Давление от временной нагрузки:

$$p_{hg} = \frac{\Sigma p}{0,8 \cdot 3,5} \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \frac{12,5 \cdot 3}{0,8 \cdot 3,5} \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{30}{2}) = 4,45 \text{ т/м}^3.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Суммарное напряжение, которое испытывают стенки колодца рабочей части σ , рассчитывается по формуле:

$$\sigma = (k_s^n \cdot p_{hy} + k_w^n \cdot p_{hw} + k_g \cdot p_{hg}) \frac{r}{\delta} \leq mR,$$

где $m=0,8$ - коэффициент условий работы;

δ – толщина стенки, мм;

r – радиус колодца, м

k - коэффициент запаса, 1,2; 1,1; 1 – соответственно см. рис. 1.

$R_{\text{доп}}$ - допустимое сопротивление материала (стеклопластика) колодца:

$R_{\text{доп}} = 30 \text{ МПа}$ – прочность на изгиб.

Допустимое напряжение для стенки колодца из стеклопластика:

на уровне перекрытия

$$\sigma_{1,2,6\text{ м}} = (1,2 \cdot 3 + 1,1 \cdot 4,5 + 4,45 \cdot 1) \frac{1,3}{0,0233} = 725,3 \text{ т/м}^2 = 7,1 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 30 \text{ МПа};$$

для горловины

$$\sigma_{2,0,7\text{ м}} = (1,2 \cdot 3 + 1,1 \cdot 4,5 + 4,45 \cdot 1) \frac{0,35}{0,0072} = 632 \text{ т/м}^2 = 6,32 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 30 \text{ МПа}$$

на уровне дна колодца

$$\sigma_{3,2,6\text{ м}} = (1,2 \cdot 5,3 + 1,1 \cdot 8 + 4,45 \cdot 1) \frac{1,3}{0,0233} = 1096 \text{ т/м}^2 = 10,74 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 30 \text{ МПа}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

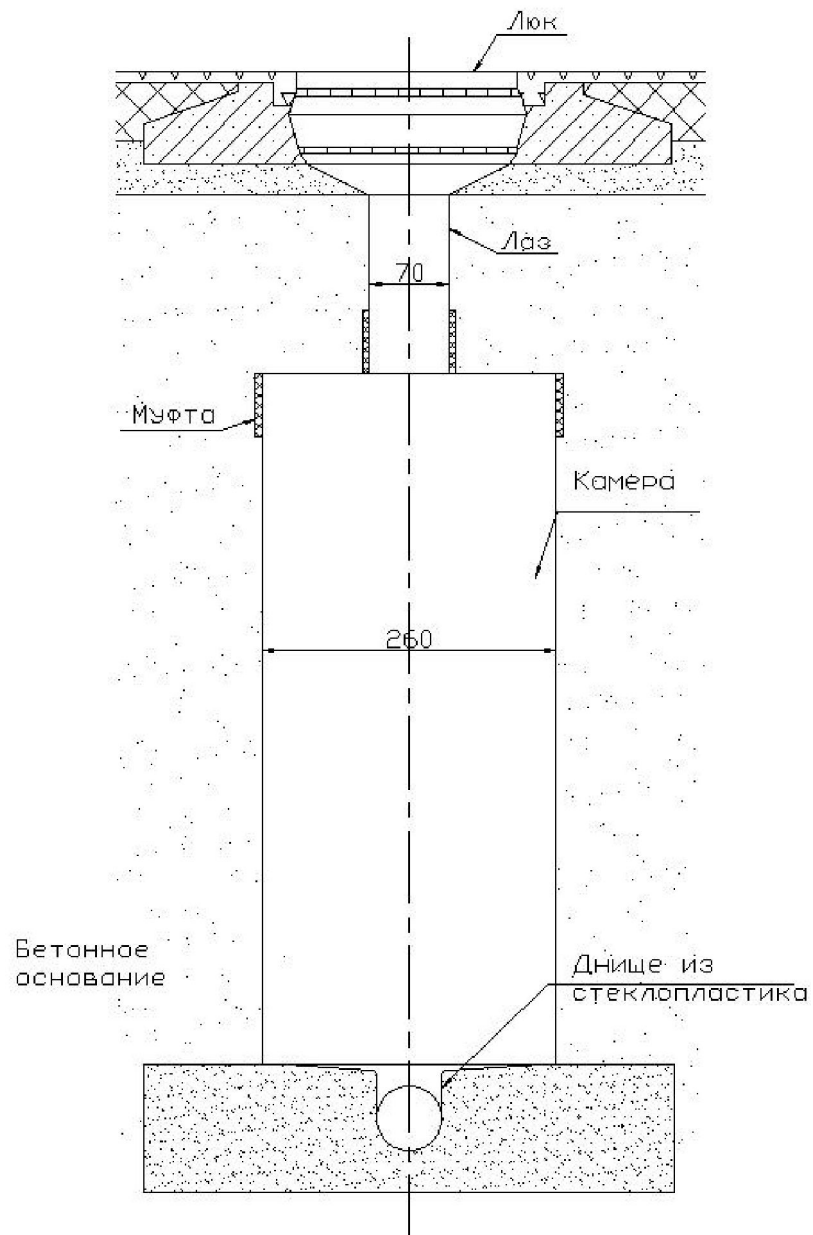


Рис.1 Расчетная схема

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

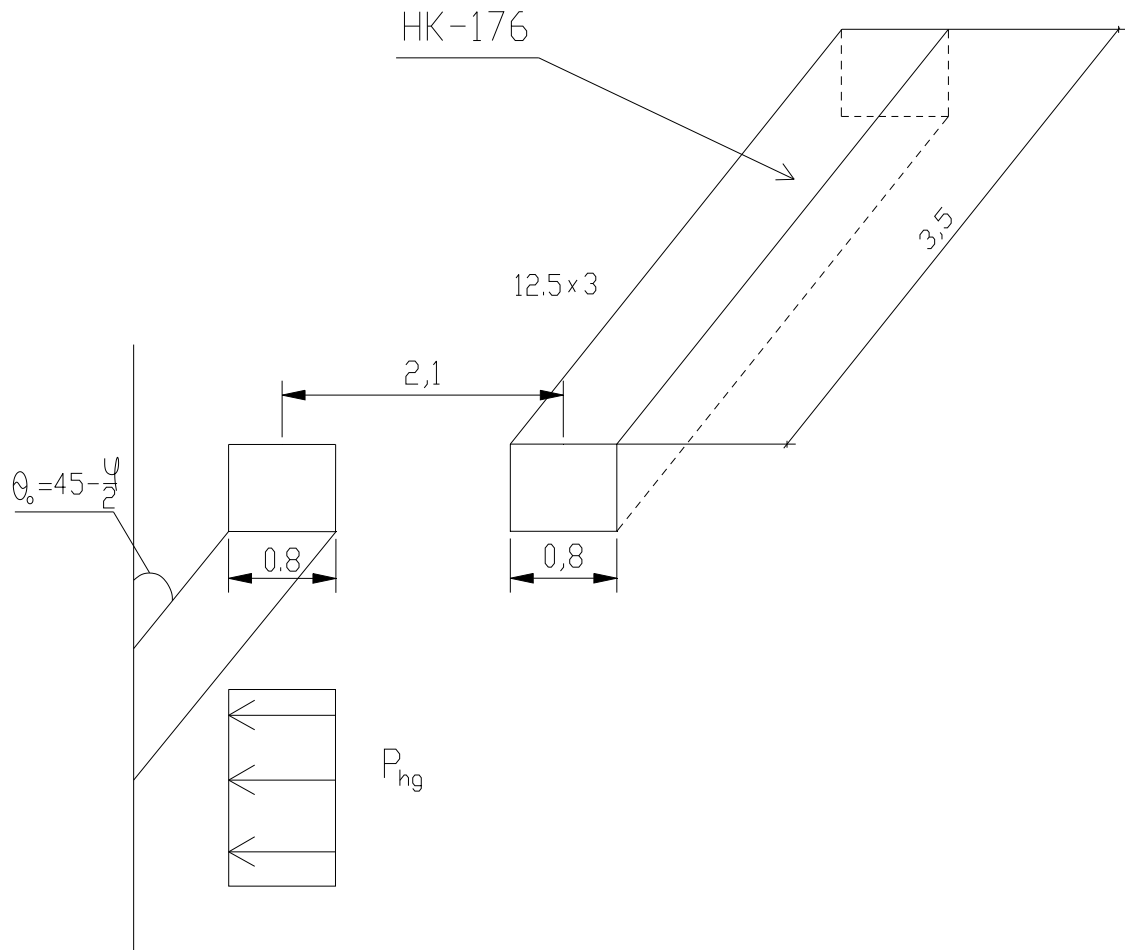


Рис.2

P_2^H
грунт
 $\gamma_+ = 1.2$

P_1^H
вода
 $\gamma_+ = 1.1$

q_1^H
НК-176
 $\gamma_+ = 1$

Вывод: Прочность конструкции соблюдается.