

СОГЛАСОВАНО

Главный инженер

ГУП

«МосводоканалНИИпроект»

Вайсфельд Б.А.

«15» августа 2007



УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Аквализайн – А»

Тевелев Ю.А. д.т.н. Тевелев Ю.А.

«29» августа 2007 г.



**РУКОВОДСТВО ПО ПРОКЛАДКЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
СПОСОБОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБ ИЗ ВЧШГ**

Руководитель работы

к.т.н., с.н.с.

Алиференков А.Д. Алиференков А.Д.

«28» августа 2007 г.

От разработчика:

д-р техн.наук

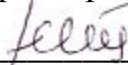
Примин О.Г. Примин О.Г.

«27» августа 2007 г.

Москва 2007

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Аквализайн – А»

 д.т.н. Тевелев Ю.А.

«05» ноября 2007 г.



РУКОВОДСТВО ПО ПРОКЛАДКЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБ ИЗ ВЧШГ

Руководитель работы

К.Т.Н., С.Н.С.

_____ Алиференков А.Д.

«15» января 2008 г.

Москва 2007

Содержание

Содержание	2
Введение	4
1 Область применения.....	6
2 Нормативные ссылки	7
3 Общие положения по применению труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и основные требования к прочностным характеристикам.....	8
3.1 Производство и области применения труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом	8
4 Основные положения	9
4.1 Проектирование бестраншейной прокладки с применением технологии ГНБ	9
4.2 Производство работ по бестраншейной прокладке с применением технологии ГНБ.....	10
4.3 Технология бестраншейной прокладки коммуникаций методом горизонтально-направленного бурения. Проектирование бестраншейной прокладки коммуникаций с применением ГНБ	10
5 Проектирование трубопроводов, прокладываемых методом ГНБ, из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.....	12
5.1 Общие положения по расчету и проектированию трубопроводов из ВЧШГ	12
5.2 Внутреннее давление транспортируемой воды	14
5.3. Внешние нагрузки и внутреннее давление, действующие на трубы из ВЧШГ при прокладке трубопровода методом ГНБ.....	14
5.4. Расчет на прочность трубопроводов из ВЧШГ.....	16
5.5. Монтаж трубопроводов и фасонных частей	18
5.6 Гидравлические испытания и сдача трубопроводов в эксплуатацию	20
Приложение А	25

Приложение Б..... 36

Введение

Настоящее Руководство содержит указания по проектированию и монтажу подземных трубопроводов водоснабжения и канализации с использованием труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, прокладываемых методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ). Их выполнение позволит соблюсти требования к наружным системам водоснабжения и канализации, устанавливаемые СНиП 2.04.02 – 84, СНиП 3.05.04 – 85, СНиП 2.04.03 – 85, СНиП 2.05.06 – 85, СП 40-109-2006.

Руководство разработано в развитие СП 40-109-2006 как дополнение к указанному Своду Правил.

В Руководстве рассмотрены вопросы, касающиеся применения труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, изготавливаемых ОАО «Липецкий металлургический завод «Свободный сокол», для бестраншейной прокладки методом ГНБ.

В Руководстве приведена методика расчета на прочность подземных трубопроводов из ВЧШГ, прокладываемых методом ГНБ, противодействующих внутреннему давлению и весу транспортируемой воды, грунтовым и транспортным нагрузкам, указаны коэффициенты запаса прочности при работе трубы в пределах упругих деформаций. Рассмотрена методика гидравлического расчета трубопроводов водоснабжения и водоотведения с целью выбора типоразмеров труб из ВЧШГ, правила и способы защиты от коррозии как внутренней, так и наружной поверхности трубопроводов из ВЧШГ, прокладываемых в грунтах различной степени агрессивности, правила монтажа и испытаний трубопроводов, техника безопасности в строительстве, а также требования охраны окружающей среды.

Свод Правил разработан ООО «Аквадизайн – А» авторским коллективом в составе: к.т.н., с.н.с. Алиференков А.Д. (ООО «Аквадизайн – А») – руководитель темы, к.т.н. Храменков С.В. (МГУП «Мосводоканал»), д.т.н., проф. Пупырев Е.И., д.т.н., проф. Примин О.Г. (ГУП

«МосводоканалНИИпроект»), Волков А.И. (Росстрой), Минченков А.В.
(ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол»).

1 Область применения

1.1 Данное Руководство разработано в соответствии с требованиями СНиП 10 – 01 – 94 и СП 40-109-2006 в развитие нормативных документов в строительстве, действующих на территории России.

1.2 Положения Руководства распространяются на проектирование, строительство, монтаж и последующую эксплуатацию вновь строящихся, реконструируемых и модернизируемых сетей холодного водоснабжения и напорной канализации, прокладываемых методом ГНБ с обеспечением последующей эффективной работы, надежной и безопасной эксплуатации.

1.3 Положения Руководства распространяются на проведение работ на всех территориях России независимо от их организационно-правовой формы и формы собственности: общественных и жилых территориях (районах, микрорайонах и на отдельных участках).

1.4 Положения Руководства не распространяются на проектирование, монтаж, ремонт и эксплуатацию сетей горячего водоснабжения, а также систем производственной канализации.

1.5 Положения Руководства обязательны для применения всеми юридическими и физическими лицами, осуществляющими проектирование, монтаж, ремонт и эксплуатацию сетей и сооружений водоснабжения и напорной канализации на территории России.

1.6 Руководство содержит обязательные, а также рекомендуемые и справочные положения по проектированию, монтажу, ремонту и эксплуатации водопроводных и канализационных трубопроводов, выполняемых из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ).

2 Нормативные ссылки

В Руководстве представлены ссылки на следующие нормативные документы:

СНиП 10 – 01 – 94 «Системы нормативных документов в строительстве. Основные положения»

СНиП 2.04.03-85 «Канализация, наружные сети и сооружения»

СНиП 3 – 05 – 04 – 85 «Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации»

СНиП 2.04.02 – 84 «Водоснабжение, наружные сети и сооружения»

СНиП 2.05.06 – 85 «Магистральные трубопроводы»

СНиП 3.01.04 – 87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения»

СП 40-109-2006 «Проектирование и монтаж водопроводных и канализационных сетей с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом»

ТУ 1461 – 037 – 50254094 – 2004 «Трубы чугунные высокопрочные»

ТУ 1461 – 050 – 50254094 – 2002 «Трубы чугунные напорные высокопрочные для гидромелиоративного строительства и сетей сельскохозяйственного водоснабжения»

ТУ 1461 – 063 – 50254094 – 2004 «Трубы чугунные напорные высокопрочные для систем канализации»

ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования»

ГОСТ 10692-80 «Трубы стальные, чугунные и соединительные части к ним. Приемка, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение»

ISO 2531 «Трубы, фитинги, арматура и их соединения из чугуна с шаровидным графитом для водо- и газоснабжения»

DIN EN 545 «Трубы, фасонные части, оснастка из ВЧШГ и их соединения для водопроводов»

МГСН 6.01-03 «Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования»

3 Общие положения по применению труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и основные требования к прочностным характеристикам

При соответствующем технико-экономическом обосновании и по согласованию с заказчиком, эксплуатационными и надзорными организациями допускается применение труб из ВЧШГ в коммуникационных коллекторах, тоннелях, каналах, наземно (в том числе в насыпях), надземно, а также при использовании бестраншейных технологий (горизонтально-направленное бурение).

Выбор труб из ВЧШГ по диаметру должен осуществляться на основании гидравлического расчета, а по толщине стенки – на основании прочностного расчета с учетом конкретных условий для проектируемого водопровода.

3.1 Производство и области применения труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

3.1.1 Трубы из ВЧШГ поставляются (в зависимости от требований потребителей) с внутренним (в том числе цементно-песчаным) и наружным покрытием нетоксичными материалами, разрешенными к применению санитарными органами.

3.1.2 Трубы из ВЧШГ находят применение в системах водоснабжения и канализации (в т. ч. в сейсмически активных районах), в противопожарных системах водоснабжения.

3.1.3 Трубы из ВЧШГ могут прокладываться с использованием традиционных траншейных, а также бестраншейных методов, благодаря специальной конструкции раструба с замковым соединением типа ВРС.

4 Основные положения

4.1 Проектирование бестраншейной прокладки с применением технологии ГНБ

4.1.1. Технология ГНБ при проектировании участков бестраншейной прокладки применяется для напорных и самотечных трубопроводов, устройства защитных футляров для прокладки кабелей, теплотрасс и газопроводов.

4.1.2. В зависимости от принятого в проекте расчетного диаметра и длины участка бестраншейной прокладки выбирается модель установки ГНБ и ее рабочая характеристика.

4.1.3. Технология горизонтального направленного бурения может применяться в зависимости от конструкции бурового инструмента в различных грунтовых условиях, от песчаных и глинистых грунтов до скальных.

4.1.4. Трасса проектируемого участка бестраншейной прокладки может быть криволинейного очертания и в плане, и в профиле в пределах допустимого радиуса изгиба буровых штанг.

4.1.5. Для технологии ГНБ требуется устройство стартовых и приемных приемков расчетной емкости для своевременного отбора отработанной буровой суспензии илососами и транспортировки ее на регенерацию.

4.1.6. Технология управляемого бурения применяется при прокладке напорных трубопроводов диаметром до 300 мм длиной до 300 м во всех категориях грунтов.

Размеры в плане и конструктивно-технологические решения стартовых и приемных котлованов (шахт) принимаются в зависимости от грунтовых условий, глубины заложения, диаметра труб, длин их звеньев.

4.1.7. На стадии разработки проекта участков бестраншейной прокладки с применением технологии ГНБ разрабатываются проект организации строительства и специальные разделы промышленной

безопасности, охраны труда, техники безопасности и охраны окружающей среды.

4.2 Производство работ по бестраншейной прокладке с применением технологии ГНБ

4.2.1. Подготовка строительства с применением технологий ГНБ выполняется в соответствии с положениями пунктов 5.2.1; 5.2.2; 5.2.3; 5.2.4; 5.2.6.1 МГСН 6.01-03.

4.2.2. До начала процесса бурения выполняются следующие операции:

- проводится контроль исправности и работоспособности локационной системы;

- датчики бурильной головки выбираются в соответствии с проектной глубиной бурения и необходимой точностью прокладки трубопровода;

- подготавливается место стоянки буровой установки с укладкой матов заземления и место приема выхода бурильной головки в заданной проектом точке на поверхности с устройством соответствующих приямков;

- разрабатываются проекты производства работ, технологические карты и инструкции по применению комплекта бурового оборудования;

- после завершения работ по прокладке трубопровода строительная площадка освобождается от временных сооружений и благоустраивается в соответствии с проектом.

4.3 Технология бестраншейной прокладки коммуникаций методом горизонтально-направленного бурения. Проектирование бестраншейной прокладки коммуникаций с применением ГНБ

4.3.1. При проектировании участков бестраншейной прокладки коммуникаций методом ГНБ оборудование выбирается в зависимости от инженерно-геологических условий данного участка и расчетного внутреннего диаметра проектируемого трубопровода.

Планово-высотные показатели участков бестраншейной прокладки коммуникаций назначаются исходя из положений общего проекта этих коммуникаций.

Глубина заложения труб из ВЧШГ диаметрами 100-300 мм лимитируется минимальным расстоянием от поверхности до свода скважины прокладываемого трубопровода в устойчивых грунтах не менее двух диаметров скважины, в неустойчивых грунтах - не менее трех диаметров скважины. Максимальная глубина заложения труб составляет 20 м.

Расстояние между стартовой и приемной шахтами назначается до 300 м.

В продольном профиле положение участка бестраншейной прокладки по величине и направлению уклона не лимитируется и назначается по общему проекту.

4.3.2. Характеристики труб, используемых при бестраншейной прокладке трубопроводов, приведены в ТУ 1461 – 037 – 50254094 – 2004 и СП 40-109-2006.

4.3.3. Последовательность прокладки трубопроводов из ВЧШГ диаметрами 100-300 мм приведена в приложении А.

4.3.4. При выполнении расчетов труб на прочность следует принимать давление вышележащего слоя грунта с учетом сводообразования, временную подвижную нагрузку по схеме Н-18 и НГ-60 под транспортными проездами, собственную массу труб и транспортируемой жидкости, давление транспортируемой жидкости, а также физико-механические характеристики грунтов в зоне трубопровода. Ориентировочный расчет усилия протягивания приведен в Приложении Б.

Расчеты на прочность труб ВЧШГ следует выполнять в соответствии со СП 40-109-2006.

4.3.5. Стартовые и приемные шахты рекомендуется размещать в местах, свободных от застройки, от зеленых насаждений и подземных коммуникаций. Стартовая шахта оборудуется грузоподъемными устройствами для доставки элементов трубопровода.

4.3.6. Глубина стартовой шахты назначается с учетом расстояния от оси трубопровода до днища шахты.

4.3.7. Конструкция крепи стартовой шахты в проекте должна рассчитываться на восприятие горного и гидростатического давления. В случае недостаточной несущей способности грунта в проекте необходимо предусматривать специальные способы производства работ.

4.3.8. На свободных территориях рекомендуется проектировать стартовый котлован прямоугольного очертания с целью возможного увеличения длины монтажных секций трубопровода. В стесненных условиях и при глубине шахты более 10 м, как правило, принимают круговое очертание с минимально возможными размерами.

4.3.9. В зависимости от инженерно-геологических и градостроительных условий, глубины заложения, применяемого оборудования, формы и размеров сечения шахт (котлованов) в проекте определяется способ их сооружения. Допускаются различные способы сооружения стартовых и приемных шахт (котлованов):

- опускной колодец, в том числе с использованием тиксотропной рубашки;
- стена в грунте;
- буросекущие сваи;
- забивное шпунтовое ограждение;
- забивная деревянная крепь с использованием инвентарных швеллерных колец или рамного крепления;
- котлованы с откосами с креплением торцевых стен.

5 Проектирование трубопроводов, прокладываемых методом ГНБ, из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

5.1 Общие положения по расчету и проектированию трубопроводов из ВЧШГ

5.1.1 Расчет подземных трубопроводов из ВЧШГ должен производиться в соответствии с общими требованиями СНиП 2.04.02 – 84 и СНиП 2.05.06 – 85.

5.1.2 При проектировании напорных сетей из ВЧШГ расчет

трубопроводов на прочность следует производить путем сопоставления несущей способности труб с результирующими данными по приведенным нагрузкам при различных условиях работы трубопровода с учетом сводообразования.

5.1.3 В качестве нагрузок, действующих на подземный трубопровод из труб ВЧШГ, следует принимать:

- внутреннее давление транспортируемой воды;
- давление грунтовой засыпки с учетом сводообразования;
- давление подвижных транспортных средств, передающееся на трубопровод через грунт, с учетом сводообразования.

5.1.4 Таблицы с результатами расчетов, проведенных в соответствии с рекомендуемой методикой при различных сочетаниях действующих на трубопровод нагрузок, должны содержать значения допустимого внутреннего давления воды, исходя из несущей способности труб на прочность и водонепроницаемость при укладке трубопровода:

- в грунтах шести категорий (пески крупные, мелкие, пылеватые, сухие, суглинки, глины);
- с учетом глубины заложения, считая от верха трубы;
- при воздействии транспортной нагрузки Н – 18, НГ-60.

5.1.5 Расчет трубопровода необходимо производить на совместное (комбинированное) воздействие внутреннего давления и внешних нагрузок, учитывая следующие случаи:

- на трубопровод действует внутреннее давление воды и внешняя нагрузка от давления грунта;
- на трубопровод действует внутреннее давление воды при гидравлическом ударе и внешняя нагрузка от давления грунта.

В качестве расчетного принимается случай, когда трубопровод подвергается наибольшему силовому воздействию.

5.1.6 Коэффициент перегрузки для определения расчетных нагрузок на трубу принимается равным:

- для вертикального давления грунта – 1,4;
- для горизонтального давления – 0,8;
- для вертикального давления транспорта (колонны автомобилей Н – 18) – 1,4.

Величины остальных коэффициентов принимаются равными 1.

5.2 Внутреннее давление транспортируемой воды

5.2.1 Величина внутреннего давления воды в трубопроводе устанавливается на основании гидравлических расчетов с учетом реальных данных проектирования.

Примечание:

Гидравлический расчет трубопроводов систем водоснабжения производится в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02 – 85 (Приложение 10 обязательное) и СП 40-109-2006.

5.2.2 Величина расчетного внутреннего давления P_p согласно СНиП 2.04.02 – 85 п. 8.22 принимается с учетом или без учета гидравлического удара. Рекомендуемая величина внутреннего рабочего давления должна составлять 1,6 МПа. Величина рабочего давления для раструбных труб с соединением типа ВРС составляет: $D_y 100$ мм – 6,4 МПа, $D_y 150$ мм – 5,5 МПа, $D_y 200$ мм – 4,4 МПа, $D_y 250$ мм – 4,0 МПа, $D_y 300$ – 3,7 МПа.

Примечание:

При отсутствии в проекте величины гидравлического расчетного давления испытательное давление $P_{исп}$ принимается в соответствии с п. 10 табл. 5 (СНиП 3.05.04 – 85 п. 7.7) не более 0,6 заводского испытательного давления, $P_0 = 5,0$ МПа.

5.3. Внешние нагрузки и внутреннее давление, действующие на трубы из ВЧШГ при прокладке трубопровода методом ГНБ

5.3.1. Значения внешней приведенной нагрузки от воздействия грунта и транспорта с учетом сводообразования для труб диаметрами 100-300 мм следует принимать по таблицам 5.1-5.5.

Таблица 5.1 Значения внешней приведенной нагрузки Q , кН/м, для трубопровода диаметром 100 мм

Глубина заложения Н, м	При воздействии			
	транспорта Н – 18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1	2	3	4	5
1,0	3,9 (29,4)	3,7 (26,4)	1,1 (87,0)	1,3 (74,0)
1,5	2,8 (34,4)	3,1 (31,0)	1,7 (56,0)	1,9 (50,2)
2,0	2,9 (32,83)	3,3 (29,8)	2,7 (42,2)	2,6 (37,0)

Таблица 5.2 Значения внешней приведенной нагрузки Q , кН/м, для трубопровода диаметром 150 мм

Глубина заложения Н, м	При воздействии			
	транспорта Н – 18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1	2	3	4	5
1,0	4,65 (15,6)	5,0 (26,4)	1,6 (44,8)	1,9 (46,0)
1,5	3,85 (19,0)	4,7 (31,0)	2,8 (31,2)	2,7 (32,0)
2,0	4,1 (18,8)	4,1 (29,8)	3,2 (23,2)	3,6 (16,1)

Таблица 5.3 Значения внешней приведенной нагрузки Q , кН/м, для трубопровода диаметром 200 мм

Глубина заложения Н, м	При воздействии			
	транспорта Н – 18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1	2	3	4	5
1,0	6,8 (9,0)	6,7 (8,4)	2,2 (26,0)	2,5 (24,0)
1,5	5,2 (10,8)	5,7 (9,2)	3,2 (19,4)	7,0 (15,0)
2,0	5,5 (10,2)	6,2 (9,2)	4,7 (13,0)	4,8 (11,4)

Таблица 5.4 Значения внешней приведенной нагрузки Q , кН/м, для трубопровода диаметром 250 мм

Глубина заложения Н, м	При воздействии			
	транспорта Н – 18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1	2	3	4	5
1,0	7,6 (6,8)	8,2 (6,4)	2,7 (19,0)	3,1 (16,6)
1,5	6,3 (8,2)	6,9 (7,4)	3,9 (13,0)	4,6 (11,4)
2,0	6,7 (7,8)	7,5 (16,8)	5,0 (9,8)	6,0 (8,6)

Таблица 5.5 Значения внешней приведенной нагрузки Q , кН/м, для трубопровода диаметром 300 мм

Глубина заложения Н, м	При воздействии			
	транспорта Н – 18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1	2	3	4	5
1,0	8,9 (5,4)	9,6 (5,0)	3,2 (15,0)	3,1 (16,6)
1,5	7,4 (6,6)	8,2 (6,0)	9,4 (10,4)	4,6 (11,4)
2,0	8,4 (6,2)	9,0 (5,4)	6,15 (9,8)	6,0 (8,6)

Примечания:

1. В скобках таблиц 5.1-5.5 приведены коэффициенты запаса прочности K_g на внешнюю нагрузку ($K_g = Q^0/Q$, где Q^0 – несущая способность трубы, Q – внешняя приведенная нагрузка).

2. Коэффициент запаса прочности K_g для труб диаметром 100 мм в диапазоне глубин заложения 1-2 м (в грунтах категории I-IV) составляет соответственно 29,4-25,0, а для труб диаметром 300 мм на глубине 2 м – 5,4-8,0. Такие величины запаса прочности на внешнюю нагрузку при воздействии транспортной нагрузки Н-18 позволяют производить прокладку трубопроводов из ВЧШГ указанных диаметров методом ГНБ, обеспечивающую доверительную вероятность неразрушения $p^* \geq 0,999$.

5.3.2. Коэффициент запаса прочности K_p на действие только внутреннего давления на гидропрочность для труб из ВЧШГ диаметрами 100-300 мм составляет 3,125.

5.4. Расчет на прочность трубопроводов из ВЧШГ

5.4.1. Расчет трубопроводов производится как для жестких труб при работе ВЧШГ в диапазоне упругих деформаций. Значения расчетного напряжения $R_p = 300$ МПа (30 кг/мм²). При совместном воздействии на трубопровод внешних приведенных нагрузок от грунта, транспорта и внутреннего гидравлического давления, зависимость между ними определяется в соответствии с требованиями СП 40-109-2006.

5.4.2. Внутреннее давление в трубопроводах, уложенных на глубину от 2 до 20 м, не должно превышать значений полученных по формуле (4.17) СП 40-109-2006, исходя из условия прочности труб (таблицы 5.6-5.10).

Таблица 5.6 Допустимое внутреннее давление (МПа) для труб из ВЧШГ диаметром 100 мм из условия прочности

Глубина заложения Н, м	При действии			
	транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1,0	62,0	61,8	65,2	65,0
1,5	63,0	62,6	64,4	64,2
2,0	62,8	62,2	63,6	63,2

Таблица 5.7 Допустимое внутреннее давление (МПа) для труб из ВЧШГ диаметром 150 мм из условия прочности

Глубина заложения Н, м	При действии			
	транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1,0	41,8	41,2	45,8	45,4
1,5	42,8	42,2	44,8	44,2
2,0	42,5	41,8	43,6	42,2

Таблица 5.8 Допустимое внутреннее давление (МПа) для труб из ВЧШГ диаметром 200 мм из условия прочности

Глубина заложения Н, м	При действии			
	транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1,0	28,0	27,4	33,2	32,3
1,5	29,4	28,6	31,8	30,1
2,0	29,0	28,2	30,4	29,4

Таблица 5.9 Допустимое внутреннее давление (МПа) для труб из ВЧШГ диаметром 250 мм из условия прочности

Глубина заложения Н, м	При действии			
	транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1,0	11,1	21,6	28,2	27,6
1,5	11,9	23,0	26,6	25,8
2,0	11,6	22,2	25,0	24,1

Таблица 5.10 Допустимое внутреннее давление (МПа) для труб из ВЧШГ диаметром 300 мм из условия прочности

Глубина заложения Н, м	При действии			
	транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I – IV	V – VI	I – IV	V – VI
1,0	17,6	16,8	24,0	23,4
1,5	19,6	18,4	22,2	21,4
2,0	18,4	17,4	20,6	19,6

Примечание:

Величина допустимого внутреннего давления не может превышать 3,0-5,0 МПа в зависимости от диаметра из условия герметичности соединений в соответствии с пунктом 5.2.2 настоящего Руководства.

5.5. Монтаж трубопроводов

5.5.1 При бестраншейной прокладке трубопроводов из ВЧШГ должен соблюдаться технологический регламент, включающий подготовительные, вспомогательные и основные работы, состав и очередность которых должны увязываться с конкретными условиями.

5.5.2 Перед началом монтажных работ внутренняя поверхность трубы (особенно кольцевой паз для манжеты) и наружная поверхность гладкого конца трубы, должны быть очищены от посторонних предметов и возможных загрязнений. Монтаж труб может производиться как из отдельных труб (картриджный метод), так и звеньями труб, монтируемых на поверхности (линейный метод) (см. Приложение А).

5.5.3 Захват при подъеме и опускании труб необходимо осуществлять приспособлениями, обеспечивающими их сохранность и исключающими удары труб друг о друга и твердые поверхности.

5.5.4 Технология сборки труб с раструбами типа ВРС производится в соответствии с требованиями СП 40-109-2006.

5.5.5 Прокладка труб из ВЧШГ методом ГНБ осуществляется в два этапа:

- 1) Пилотное бурение скважины малого диаметра;
- 2) Расширение пилотной скважины с одновременным протягиванием трубы.

5.5.6 Расчет труб с соединениями ВРС производится на срез приварного валика на гладком конце трубы при продольном перемещении стопоров. Величина расчетного сопротивления срезу S_c^p для труб диаметрами 100-300 мм принята равной 240 МПа.

5.5.7 Величины расчетных значений несущей способности труб при осевом нагружении в кН.

Таблица 5.11 Величины расчетных значений несущей способности труб при осевом нагружении, кН

D_p , мм	100	150	200	250	300
Q_c , кН	260	380	580	720	860

Коэффициенты запаса прочности, равные отношению Q_c^o/Q_m – лежат в пределах 2,5-5,8, где Q_m – величина усилия протяжки труб, развиваемого машинами ГНБ.

5.5.8 Диаметры расширенных пилотных скважин, D_m , через которые протягиваются трубы с раструбами типа ВРС должны быть не менее:

D_p , мм	100	150	200	250	300
D_m , мм	240	300	380	450	500

5.5.9 Минимальный радиус закругления скважин для протяжки труб длиной 6 м в зависимости от угла изгиба труб в соединениях типа ВРС приведен в приложении А.

5.5.10 Монтаж трубопровода следует производить методом последовательного наращивания из одиночных труб непосредственно в проектном положении трубопровода на поверхности земли (картриджный метод).

5.5.11 Монтаж трубопровода линейным методом производится также на поверхности земли. Длина звеньев трубопровода в этом случае определяется расчетом и проектом.

5.5.12 Собранные соединения при необходимости, можно демонтировать. Для этого следует удалить из раструбов стопоры. После удаления стопоров трубу вытягивают с помощью реечного домкрата и

составной обоймы. В случае повторного соединения труб следует использовать новую уплотнительную манжету.

5.5.13 Для бестраншейной прокладки (горизонтально-направленное бурение) трубопроводов следует разрабатывать проект производства работ с учетом раздела 2 СП 40-109-2006, а также отдельных положений МГСН 6.01-03, указанного в приложении Б.

5.6 Гидравлические испытания и сдача трубопроводов в эксплуатацию

5.6.1 Испытания сетей водоснабжения (напорной канализации), выполненных из ВЧШГ, должны проводиться с учетом основных требований СНиП 2.04.02-84 и СНиП 3.05.04-85 и в соответствии с проектом производства работ и СП 40-109-2006.

5.6.2 Гидравлические испытания трубопроводов должны проводиться в два этапа:

– на прочность (предварительное испытание); производится на поверхности земли до протяжки звеньев через скважину, установки арматуры (задвижек, гидрантов, предохранительных клапанов, вантузов);

– на плотность (герметичность); проводится после протяжки звеньев через скважину и завершения всех работ на данном участке трубопровода с установленными задвижками, но до установки гидрантов, предохранительных клапанов и вантузов.

5.6.3 Величина испытательного гидравлического давления $P_{исп}$, на которое следует испытывать напорные трубопроводы при предварительном и окончательном их испытании, устанавливается проектом с учетом рабочего давления. При отсутствии в проекте величины испытательного давления, оно должно приниматься при предварительном и окончательном испытании равным: рабочее давление плюс 0,5 МПа (5 кгс/см²), но не более 0,7 МПа от нормы испытательного давления трубы на заводе-изготовителе.

5.6.4 Оборудование для гидравлического испытания должно включать гидравлический пресс (насос), манометр, мерный бак или водомер

для измерения количества подкачиваемой воды и величины утечки. На концах испытываемого участка трубопровода устанавливаются заглушки.

5.6.5 Применение упоров на концах трубопроводов при испытании и эксплуатации труб с соединениями типа ВРС необязательно.

Перед началом проведения гидравлических испытаний следует проверить и убедиться, что из предъявленных к испытанию собранных звеньев трубопровода полностью удален воздух. Наполнять трубопровод водой рекомендуется с низшей стороны участка. Для удаления воздуха во всех наиболее высоких точках участка трубопровода устраивают воздуховыпускные стояки из труб диаметром 25-50 мм с запорными вентилями, выведенными над уровнем земли.

Испытания трубопроводов с внутренним цементно-песчаным покрытием следует начинать после заполнения его водой и предварительной выдержке под давлением (приблизительно 2 кгс/см²) в течение трёх часов (для пропитки пор цементного раствора).

5.6.6 При испытании трубопровода на прочность выполняются следующие операции:

- постепенно повышают давление в звеньях трубопровода (по 0,3-0,5 МПа) с выдерживанием давления на каждой ступени не менее 5 мин и осмотром труб и стыковых соединений;

- при достижении в звеньях трубопровода испытательного давления $P_{исп}$ в течение не менее 10 мин не допускают падения давления больше чем на 0,1 МПа, производя дополнительную подкачку воды до $P_{исп}$.

Примечания:

1 При обнаружении утечки во время повышения давления необходимо установить причину нарушения герметичности и принять меры по ее ликвидации.

2 Устранение обнаруженных дефектов трубопровода можно производить после снижения давления в нем до атмосферного.

3 Категорически запрещается хождение по испытываемым звеньям

трубопровода, простукивание, нахождение рабочих в зоне испытаний.

5.6.7 Плетя трубопровода считаются выдержавшими испытание на прочность, если при достижении испытательного давления не произойдет разрыва труб, нарушения стыковых соединений и при осмотре трубопровода не будет обнаружено утечек воды.

5.6.8 Испытания собранного трубопровода после протяжки его через расширенную пилотную скважину и подключения его к арматуре производится в следующей последовательности:

1) давление в трубопроводе повышают до величины испытательного давления на герметичность P_2 ;

2) фиксируют время начала испытания T_n и замеряют начальный уровень воды в мерном бачке h_n ;

3) проводят наблюдения за падением давления в трубопроводе; при этом могут иметь место три варианта падения давления:

– первый, если в течение 10 мин давление упадет не менее чем на два деления шкалы манометра, но не будет ниже внутреннего расчетного P_p , то наблюдение за падением давления заканчивают;

– второй, если в течение 10 мин давление упадет менее чем на два деления шкалы манометра, то наблюдение за снижением давления до внутреннего расчетного P_p следует продолжать до тех пор, пока давление упадет не менее чем на два деления шкалы манометра; при этом продолжительность наблюдения не должна быть более 1 часа. Если по истечении этого времени давление не снизится до внутреннего расчетного давления P_p , то следует произвести сброс воды из трубопровода в мерный бачок (или замерить объем сброшенной воды другим способом);

– третий, если в течение 10 минут давление упадет ниже внутреннего расчетного давления P_p , то дальнейшее испытание трубопровода прекратить и принять меры для обнаружения скрытых дефектов трубопровода, выдерживая его под внутренним расчетным давлением P_p до тех пор, пока

при тщательном осмотре не будут выявлены дефекты, вызвавшие недопустимое падение давления в трубопроводе.

После окончания наблюдения за падением давления по первому варианту и завершения сброса воды по второму варианту необходимо выполнить следующее:

– подкачкой воды из мерного бачка давление в трубопроводе повысить до величины испытательного давления на герметичность P_r , зафиксировать время окончания испытания на герметичность T_k и замерить конечный уровень воды в мерном бачке h_k ;

– определить продолжительность испытания трубопровода ($T_k - T_n$), мин, объем подкаченной в трубопровод воды из мерного бачка Q (для первого варианта), разность между объемами подкаченной в трубопровод и сброшенной из него воды или объем дополнительно подкаченной в трубопровод воды Q (для второго варианта) и рассчитать величину фактического расхода дополнительного объема вкаченной воды q_n , л/мин, по формуле:

$$q_n = \frac{Q}{T_k - T_n}$$

Напорный трубопровод признается выдержавшим предварительное и приемочное гидравлическое испытания на герметичность, если величина расхода подкаченной воды не превышает величин допустимого расхода подкаченной воды на испытываемый участок длиной 1 км и более указанного в таблице 5.12.

Таблица 5.12 Допустимая величина утечки воды

Условный диаметр трубопровода, мм	Допустимая величина утечки на участок длиной 1000 м, л/мин
100	0,5
150	0,8
200	1,0

250	1,1
300	1,2

Примечание:

При длине испытываемого участка трубопровода менее 1 км приведенные в таблице допустимые расходы подкаченной воды следует умножать на его длину, выраженную в км.

Приложение А

Обязательное

Технические аспекты применения труб ВЧШГ для бестраншейной прокладки

Введение

Горизонтально направленное бурение (ГНБ) – технология, не требующая прокладки траншей, и обеспечивающая альтернативную прокладку трубопроводов. Она имеет преимущества перед традиционным методом открытой разработки.

ГНБ может осуществляться с небольшими повреждениями поверхности, требует меньше рабочего пространства, осуществляется гораздо быстрее, чем традиционный метод прокладки трубопроводов. Наряду с оперативностью и экономичностью технологии бестраншейной прокладки трубопроводов (в том числе и ГНБ) отличаются высоким качеством и возможностью выполнения работ в местах, где традиционные методы не применимы. Немаловажным фактором остаётся и экологическая сторона применения подобных технологий.

Данная технология становится все более и более распространенной и, возможно, одной из самых быстрорастущих технологий бестраншейной прокладки трубопроводов на сегодняшний день.

Технология прокладки

ГНБ одна из технологий бестраншейной прокладки трубопроводов, представляющая собой сверление небольшого направляющего отверстия с использованием технологии слежения и управления сверлом с поверхности.

Сущность метода состоит в использовании специальных буровых машин, буров, штанг, которые осуществляют предварительное (пилотное) бурение по заранее рассчитанной траектории с последующим расширением скважины и протаскиванием в образовавшуюся полость трубопроводов.

Конструкция буровой головки обеспечивает возможность изменения направления бурения.

Направляющая скважина располагается от поверхности земли под углом $8-20^\circ$ и, достигнув необходимой глубины, переходит в горизонтальное положение. Обычно применяется сверление скважин с постепенным изгибанием или почти прямым выравниванием, чтобы свести к нулю трение и не допускать выхода за пределы допустимого прогиба соединения и допустимого радиуса кривизны трубы. Это уменьшает вероятность «подвешивания» трубопровода или его повреждения.



Рис. А.1

Прокладка трубопроводов по технологии ГНБ осуществляется в два этапа:

- 1) бурение пилотной скважины на заданной проектом траектории.
- 2) Расширение скважины и протягивание трубопровода.

Бурение пилотной скважины



Рис. А.2

Бурение пилотной скважины — особо ответственный этап работ в бестраншейной прокладке методом горизонтально направленного бурения

(ГНБ) сетей, от которого во многом зависит конечный результат. Оно осуществляется при помощи породоразрушающего инструмента — буровой головки со скосом в передней части и встроенным передатчиком сигнала местонахождения буровой головки.

Буровая головка соединена, посредством полого корпуса, с гибкой приводной штангой, что позволяет управлять процессом строительства пилотной скважины и обходить выявленные препятствия в любом направлении в пределах естественного изгиба протягиваемой рабочей нити. Буровая головка имеет отверстия для подачи специального бурового раствора, который закачивается в скважину и образует суспензию с размельченной породой. Буровой раствор уменьшает трение на буровой головке и штанге, предохраняет скважину от обвалов, охлаждает породоразрушающий инструмент, разрушает породу и отчищает скважину от ее обломков, вынося их на поверхность. Контроль за местоположением буровой головки осуществляется с помощью приемного устройства локатора, который принимает и обрабатывает сигналы встроенного в корпус буровой головки передатчика.

На мониторе локатора отображается визуальная информация о местоположении, уклоне, азимуте буровой головки. Также эта информация отображается на дисплее оператора буровой установки. Эти данные являются определяющими для контроля соответствия траектории строящегося трубопровода проектной и минимизируют риск подвешивания рабочей нити. При отклонении буровой головки от проектной траектории оператор останавливает вращение буровых штанг и устанавливает скос буровой головки в нужном положении. Затем осуществляется задавливание буровых штанг, устанавливается скос буровой головки в нужном положении с целью коррекции траектории бурения. Строительство пилотной скважины завершается выходом буровой головки в заданной проектом точке.

Расширение скважины



Рис. А.3

Расширение скважины осуществляется после завершения пилотного бурения. При этом буровая головка отсоединяется от буровых штанг и вместо нее присоединяется риммер — расширитель обратного действия. Приложением тягового усилия с одновременным вращением риммер протягивается через створ скважины в направлении буровой установки, расширяя пилотную скважину до необходимого для протаскивания трубопровода диаметра. Для обеспечения беспрепятственного протягивания трубопровода через расширенную скважину ее диаметр должен на 25-30% превышать максимальный диаметр трубы.

Протягивание трубопровода

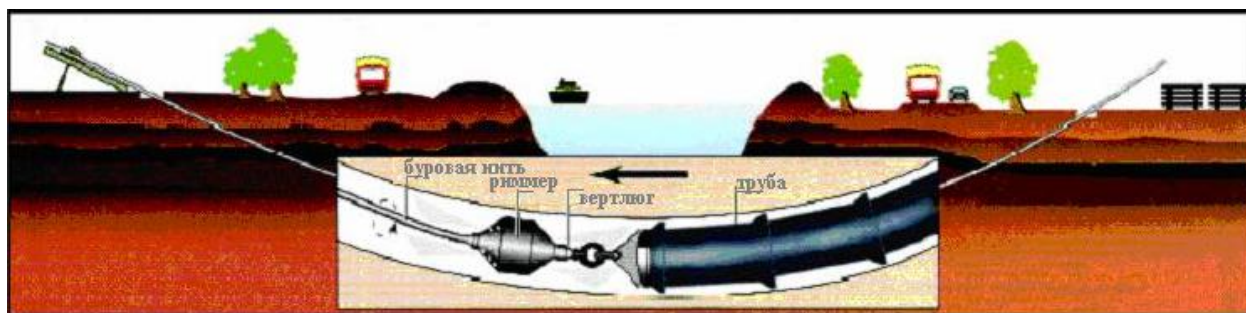


Рис. А.4

На противоположной от буровой установки стороне скважины располагается готовая плеть трубопровода. К переднему концу плети (раструбу первой трубы) крепится приспособление для протягивания труб с воспринимающим тяговое усилие вертлюгом и риммером. Вертлюг вращается с буровой нитью и риммером, и в тоже время не передает вращательное движение на трубопровод. Таким образом, буровая установка

затягивает в скважину плетень протягиваемого трубопровода по проектной траектории.

Существует множество видов приспособлений для протягивания труб. Приспособление для протягивания, рекомендуемое для труб под соединением типа ВРС приведено на рис. А.10.

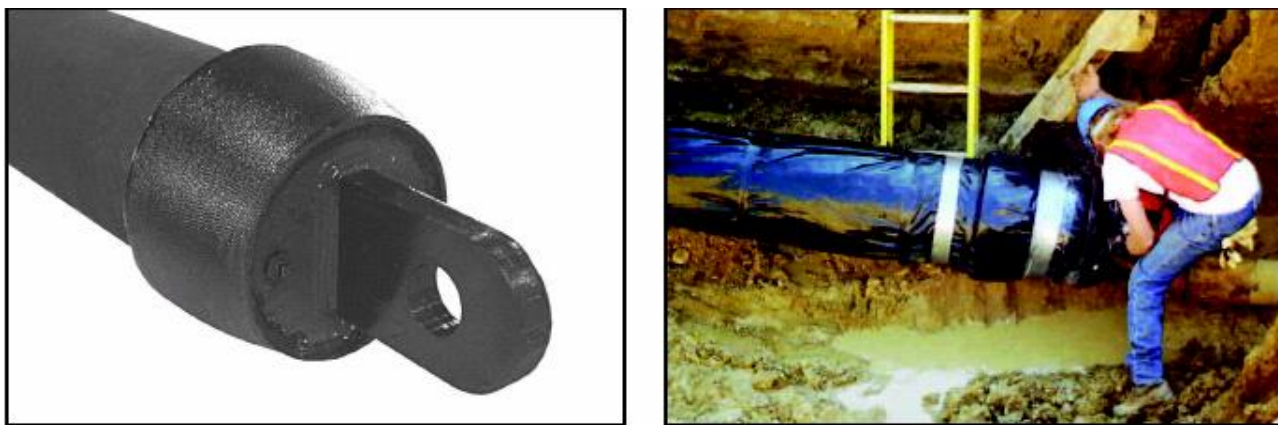


Рис. А.5

Технология ГНБ уникальна тем, что она позволяет изменять при необходимости направление прокладки в любом направлении, огибая на своем пути различные препятствия (действующие или брошенные подземные коммуникации или другие сооружения).

Если почвы могут вызвать коррозию труб, то требуется их защита. Надежной защитой в этом случае является покрытие трубопровода полиэтиленовым рукавом.

Полиэтиленовый рукав крепится поперечными нахлестами липкой ленты с расстоянием между собой около 60 см. Чтобы обезопасить полиэтилен в местах соединений, на оба конца соединения труб плотно наматывается пластиковая соединительная лента.

Прокладка труб ВЧШГ с помощью технологии ГНБ обычно начинается от площадки, где приготовлена конструкция, непосредственно граничащая с местом входа для протягиваемых труб. Это позволяет немедленно поместить трубу в скользкий смазывающий раствор для бурения без протаскивания трубы по земле, т.к. это может повредить полиэтиленовый рукав.

Буровой раствор

Все установки ГНБ работают с буровым раствором. В качестве бурового раствора может применяться вода, однако в большинстве случаев используются растворы на основе бентонита или полимеров. Бентонит – минерал природного происхождения, который при смешивании с водой образует глинистую суспензию. Нормальный буровой раствор представляет собой суспензию из воды и бентонита (высококачественной глины), а также, в случае необходимости, натуральных присадок, улучшающих технологические свойства.

Распространенный состав бентонита, который можно привести в качестве примера, таков:

SiO_2 около 57%

Al_2O_3 около 21%

Fe_2O_3 около 5%

TiO_2 около 1%

K_2O около 1%

Na_2O около 3%

CaO около 4%

H_2O около 8%

Удельный вес сухого бентонита составляет около 2,3 кг/л. Значение рН 6-процентной суспензии лежит между 8-9.

Ниже перечислены принципиально важные функции бурового раствора, используемого при ГНБ:

- смазка образующейся скважины для уменьшения трения между буровой головкой и стенкой скважины;
- укрепление скважины, особенно в рыхлой или мягкой почве за счет создания фильтра с низкой водопроницаемостью и положительного гидравлического давления на стенки скважины, предотвращение обвалов;
- предотвращение образования пластовых жидкостей (например, грунтовых вод) и попадания их в скважину;

- удаление отходов бурения;
- увлажнение режущей головки во время бурения;
- охлаждение инструмента для сверления скважин.



Рис. А.6 Входное отверстие для ГНБ и циркуляционный насос для бурового раствора

Для ГНБ выбор смеси бурового раствора и давления подачи в значительной степени зависят от типа почвы. Почвы могут быть определены как крупно комковатая (песок и гравий) и мелкозем (глина, ил/мелкозем и сланец). В общем случае, для крупно комковатой почвы используется бентонит, а для мелкозема – рекомендуются полимеры (возможно добавленные к бентонитовой основе). В зависимости от особенностей конкретного проекта требуемые характеристики бурового раствора могут быть изменены за счет корректировки его состава.

Точный контроль технологических параметров бурового раствора, таких как вязкость, насыщенность буровой мелочью, имеет большое значение на каждом этапе работы.

Буровой раствор приготавливается в специальных смесительных устройствах. Поступающий из скважины отработанный буровой раствор проходит очистку от буровой мелочи в фильтровальных установках. Затем в него по мере необходимости добавляется бентонит, и раствор снова используется в процессе бурения, что образует замкнутый цикл.

Процесс очистки бурового раствора состоит, как правило, в прохождении им последовательных ступеней фильтрации и отделения различных фракций буровой мелочи. Фильтровальная установка может состоять, например, из вибросита, отделителей песка и ила. Насыщенность бурового раствора буровой мелочью не должна превышать **30%** . Только в этом случае может быть гарантировано отсутствие чрезмерной седиментации (центробежного осаждения) при извлечении раствора из скважины.

По завершении буровых работ оставшийся буровой раствор может быть использован на других объектах горизонтального бурения. В рекомендуемых пределах отработанный буровой раствор может быть использован также на сельскохозяйственных площадях для улучшения структуры почв (например, песчаных). Он может и просто отправляться на свалки, хранилища.

Методы монтажа ГНБ

Прокладка труб с помощью технологии ГНБ включает в себя сохранение в незакупоренном состоянии прохода скважины, через которую насколько возможно быстро протягиваются трубы.

Бестраншейная прокладка трубопроводов методом ГНБ выполняется двумя методами:

1) Картриджный метод.

Картриджный метод включает в себя последовательное соединение труб во время прокладки и предпочтителен, когда прямой или изогнутый участок трубопровода ограничены. Данный метод прокладки требует значительно меньше места для прямых участков трубопровода, чем сборочный метод (метод линейной конструкции).



Рис. А.7

2) Метод линейной конструкции.

Данный метод представляет собой протягивание через направляющую скважину уже соединенного трубопровода. При использовании данного метода необходимо располагать достаточно большим пространством, которое позволило бы сначала расположить трубы над землей (в основном на роликах) в непосредственной близости от направляющей скважины.



Рис. А.8

Тип соединения труб для ГНБ

Для прокладки трубопроводов методом ГНБ используются раструбные трубы из ВЧШГ с замковым соединением типа ВРС. Эти соединения обеспечивают хорошее распределение осевой нагрузки или тянущего усилия

вокруг раструба и ствола трубы и в состоянии выдерживать большое тяговое усилие, чем другие виды соединений труб. Они так же имеют свободное допустимое отклонение соединения с одновременным ограничением соединения и быстро и легко собираются для картриджного метода установки, когда изогнутый или прямой участок трубопровода ограничены. Раструбное соединение типа ВРС показано на рис. А.9.

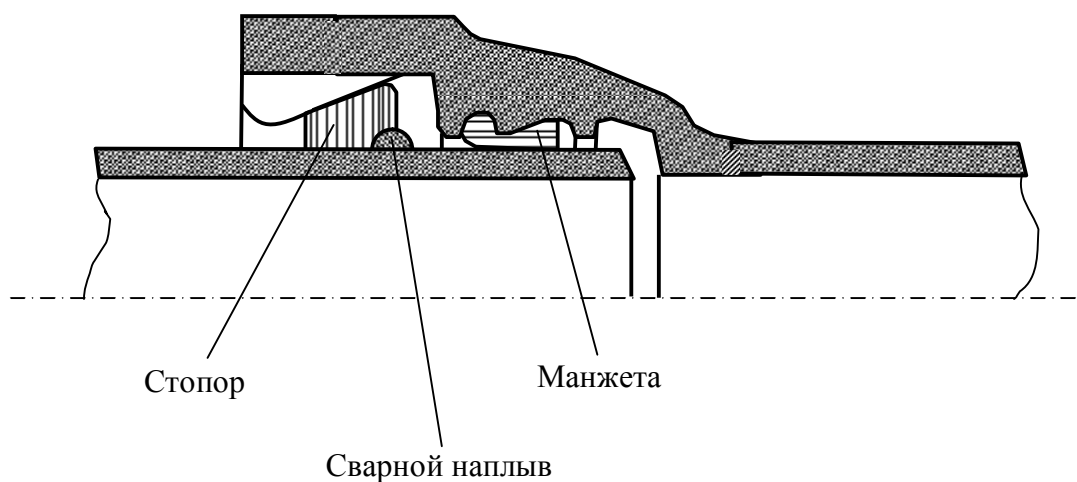


Рис. А.9

Радиус отклонения

Подготовленная строительная площадка и трасса для бурения должны быть спроектированы так, чтобы допустимое отклонение труб из ВЧШГ, указанное производителем, при монтаже труб не превышало максимального.

Обычно плотное горизонтальное сверление прохода скважины хорошо ограничивает боковое движение труб и соединений, которые имеют три степени свободы. В отличие от сварных трубопроводов замковые соединения труб из ВЧШГ для ГНБ – подвижны. При правильно выбранном радиусе изгиба скважины для труб из ВЧШГ, благодаря изгибающему моменту, прикладываемая тянущая нагрузка создает минимальное или вообще не создает дополнительного растяжения для стенок труб из ВЧШГ.

Рекомендуется делать радиус поворота посредством нескольких вытягиваний вдоль оси с тем, чтобы не допустить возможности чрезмерного прогиба соединения и превышения максимальной силы натяжения.

Таблица А.1 Минимальный радиус закругления

Условный проход труб, мм	Максимально допустимое сгибание соединений, градусы	Минимально допустимый радиус закругления для трубы длиной 6000 мм, м
100	5,00	70,1
150	4,75	73,5
200	4,50	77,7
250	4,25	82,3
300	4,00	86,9

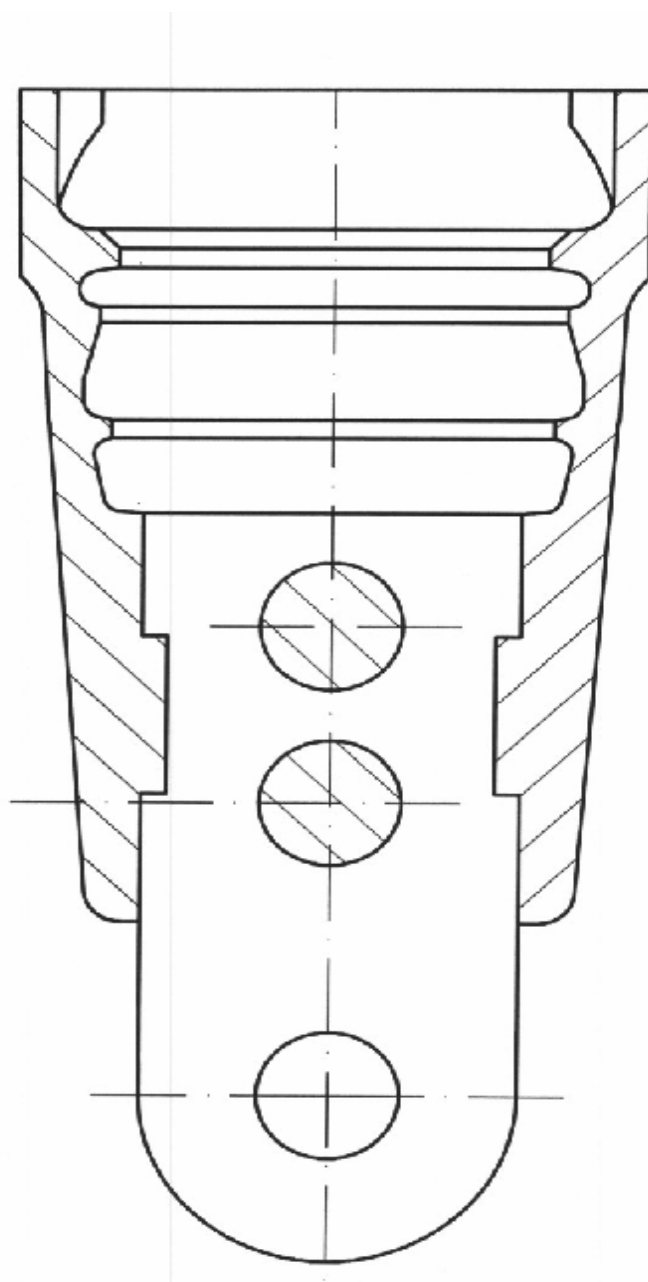


Рис. А.10 Приспособление для прокладки труб под соединение типа ВРС
бестраншейным методом

Приспособление для протяжки труб изготавливается из отрезка трубы с раструбом ВРС, соединённого с тягой для присоединения к вертлюгу. Соединение приспособления к протягиваемому звену трубопровода может осуществляться с применением уплотнительной манжеты типа ВРС.

Приложение Б Обязательное

Эксплуатационные нагрузки от грунта и транспорта на подземные трубопроводы, прокладываемые методами горизонтально-направленного бурения

1 Давление грунта на подземные трубопроводы при закрытых прокладках

Давление грунта на трубопровод необходимо знать для расчета прочности и деформации труб, а также для расчета их устойчивости. Существуют различные расчетные схемы по определению закона распределения давления грунта по периметру труб. Следует иметь в виду, что свойства грунтов меняются по длине трубопровода, это обстоятельство затрудняет решение задачи и заставляет пользоваться условными расчетными схемами.

1.1 Среднее вертикальное давление грунта на трубу, расположенную в однородном грунте

Под средним будем понимать давление грунта по горизонтальной плоскости, проходящей через центр трубопровода. В этом случае давление грунта

$$s_{cp} = q_{cp} = g_{ест} \cdot h_{cp}, \quad (1.1)$$

где

$g_{ест}$ - объемный вес грунта в естественном состоянии;

h_{cp} пояснено на рис. 1.1.

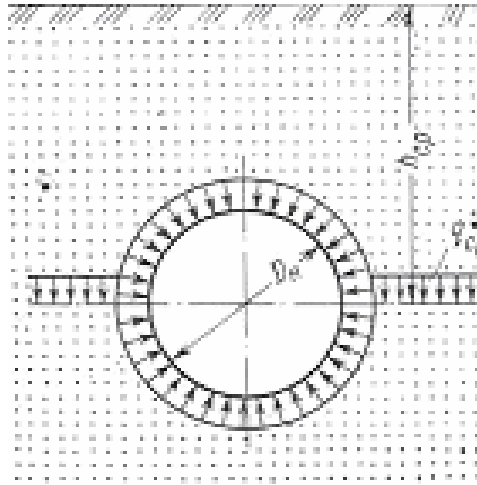


Рис. 1.1 Среднее давление грунта на подземный трубопровод

При таком понимании «среднего давления» труба, находящаяся в грунте, совершенно не влияет на напряженное состояние грунта. Конечно, определять, таким образом, давление грунта на трубопровод можно лишь для ориентировочных расчетов.

Однако в практике проектирования трубопроводов q_{cp} , определенное по формуле (1.1), часто принимают равномерно распределенным по периметру трубы, что позволяет существенно упростить решение очень важных задач о продольных перемещениях подземных трубопроводов. Обоснованность такого допущения при h_{cp} , не превышающей двух-пяти D_H , довольно хорошо подтверждается экспериментами по продольному перемещению труб в однородном песчаном грунте. Обработка результатов опытов (рис. 1.2) позволила установить линейную зависимость между касательным напряжением t_{np} и $g_{ест} \cdot h_{cp}$ при постоянном значении продольной силы.

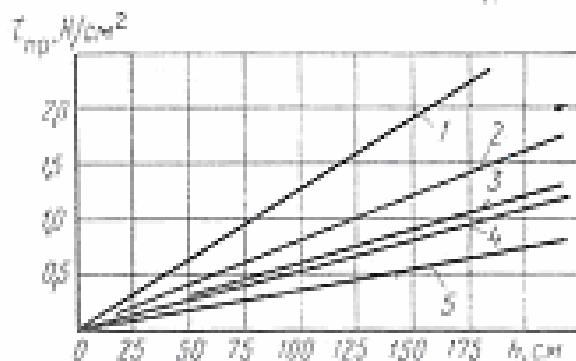


Рис. 1.2. График зависимости $t_{np} = f(h)_{cp}$: 1 - $D_H=325$ мм; 2 - $D_H=529$ мм;

3 - $D_H=820$ мм; 4 - $D_H=1020$ мм; 5 - $D_H=1420$ мм

При определении касательных напряжений t_{np} было принято допущение, что S_z равномерно распределяется по периметру труб, поэтому $t_{np} = g_{ест} \cdot h_{cp} \cdot tgj$.

Поскольку $g_{ест}$ и $tg\varphi$ были постоянными во всех опытах, можно сказать, что допущение о равномерности распределения q_{ep} по периметру трубы для грунтов, не обладающих связностью, подтверждается. По-видимому, суммарное действительное давление грунта на периметр трубы- достаточно близко по величине суммарному давлению, если считать его равномерно распределенным. Поэтому и было получена показанная на рис. 1.2 линейная зависимость между t_{np} и $g_{ест} \cdot h_{cp}$.

Как видно из формулы 1.1, давление грунта неограниченно возрастает при увеличении h_{cp} . Однако в действительности, начиная с некоторой глубины h_{cp} , давление не увеличивается, а остается постоянным при увеличивающейся h_{cp} . Объяснение этому явлению впервые было дано проф. М. М. Протодьяконовым. [2]

1.2 Среднее давление грунта на подземный трубопровод при образовании свода естественного равновесия

Проф. М. М. Протодьяконов для изучения описанного явления проводил следующие опыты. В ящик, в дне которого имелось отверстие, насыпался влажный песок. Отверстие открывалось, часть песка высыпалась, над отверстием образовывался свод, и песок из ящика больше не сыпался. Песчаный грунт приобретал способность удерживать сам себя. М. М. Протодьяконов назвал образовавшийся свод *сводом естественного равновесия* и доказал, что он имеет параболическое очертание. Рассмотрим это доказательство. Допустим, что над выработкой круглого очертания образовался свод естественного равновесия AOB (рис. 1.3), высотой h_{CB} , шириной D_H . Нагрузка от давления грунта, воспринимаемая сводом, может быть определена по формуле (1.1).

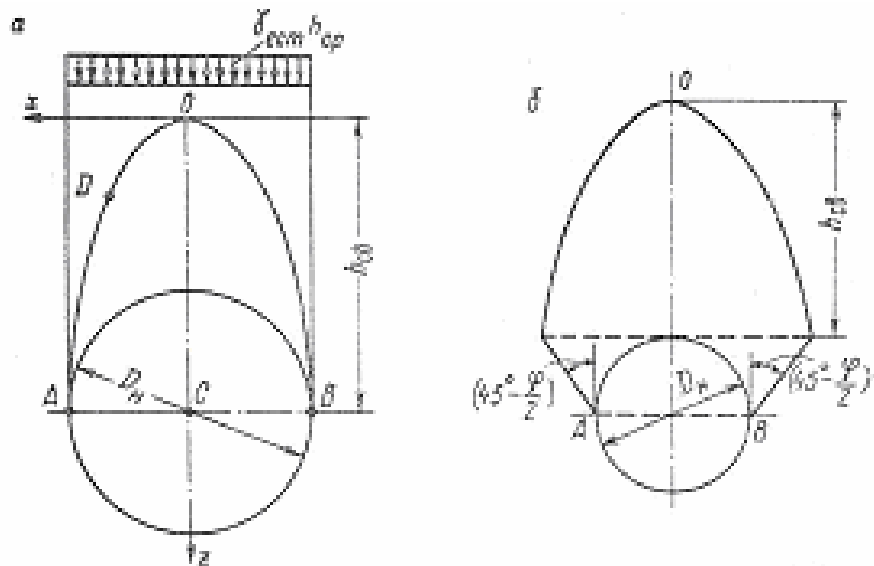


Рис. 1.3. Давление грунта на подземную трубу при образовании свода естественного равновесия: а) – опирание свода на уровне центра трубы; б) – опирание свода на уровне верхней образующей трубы

Расположив начало координат в вершине свода (точка О) рассмотрим условия, при которых свод будет находиться в равновесии. Это будет только в том случае, когда на частицы грунта по линии свода действуют только сжимающие тангенциальные силы, а сдвигающие силы отсутствуют. Отбросим правую часть свода и заменим ее действие тангенциальной силой T_0 , называемой *распором* (рис. 1.4).

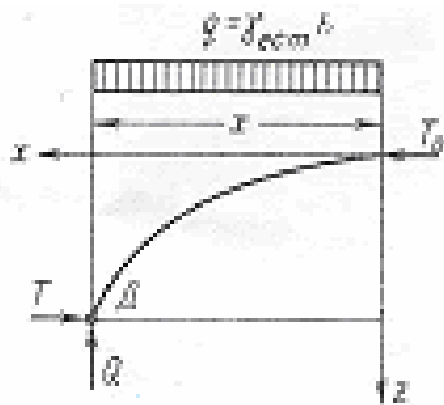


Рис. 1.4 Схема для определения формы свода естественного равновесия
Для произвольной точки свода запишем условия равновесия,
 $\Sigma X=0, \Sigma Z=0, \Sigma M=0.$

Из первого условия получаем, что для любой точки свода $T=T_0$, т.е. распор в любой точке равен распору в вершине свода.

Из второго условия следует, что $Q=qx$, соответственно в точках A и B

$$Q = \frac{q \cdot D_H}{2}, \text{ а в вершине свода при } x=0 \text{ } Q=0.$$

Раскрывая третье условие, получаем

$$\frac{q \cdot x^2}{2} - T_z = 0$$

Откуда

$$z = \frac{q \cdot x^2}{2T}.$$

Это и есть уравнение свода естественного равновесия. Для точек A и B ($x = \pm D_H/2$)

$$h_{ce} = \frac{q \cdot D_H^2}{8T}, \quad (1.2)$$

Чтобы свод не разрушался в результате сдвига в точках A и B , необходимо, чтобы сдвигающая сила T была меньше (в пределе равна), чем сила трения, т. е. должно выполняться условие

$$T \leq Qf,$$

где

f - коэффициент трения грунта, равный $tg\varphi$.

М.М. Протодьяконовым показано (доказательства не приводим), что наибольшей устойчивости свод естественного равновесия достигает, если принять силу трения равной $Qf/2$.

Имея это в виду, получим высоту свода

$$h_{ce} = \frac{D}{2 \cdot tgj}. \quad (1.3)$$

При определении высоты свода естественного равновесия мы предположим, что она начинается в точках A и B (см. рис. 1.3.а). Однако инженерами Метрогипротранса было установлено, что высоту свода следует определять, считая его начало на уровне верха трубы. Схема этого расчетного случая доказана на рис. 1.3.б. В соответствии с обозначениями на рисунке

$$h_{св} = \frac{B}{2 \cdot tgj}, \quad (1.4)$$

где

$$B = D_H \left[1 + tg^2 \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) \right] - \text{величина пролета разгруженного свода.}$$

При таком подходе $h_{св}$ будет несколько больше, чем определяемое по (1.3).

Давление грунта, расположенного выше точки O , полностью воспринимается грунтовым сводом, а на трубу давит только грунт, находящийся внутри свода естественного равновесия. Это давление принимают равномерно распределенным и равным

$$q_{св} = g_{сст} \cdot h_{св}. \quad (1.5)$$

Следует отметить, что теория проф. М. М. Протодьяконова хорошо согласуется с действительностью при сыпучих грунтах; для связных и скальных грунтов давления $q_{св}$, как правило, занижены. Тем не менее, теория М.М. Протодьяконова принимается для всех видов грунтов и горных пород. В этом случае вместо $tg\varphi$ в формуле (1.3) принимается так называемый коэффициент крепости $f_{кр}$, учитывающий суммарное действие сил трения и сцепления.

Определяя вертикальное давление грунта на трубопровод в соответствии с изложенным методом, следует иметь в виду, что такое давление возникает, если укладывать трубу, убирая грунт через ее внутреннюю полость. Это имеет место при устройстве переходов методом горизонтального бурения. Суть этого метода заключается в том, что труба продвигается в горизонтальном направлении при одновременном разрыхлении грунта впереди трубы и уборке его различными способами.

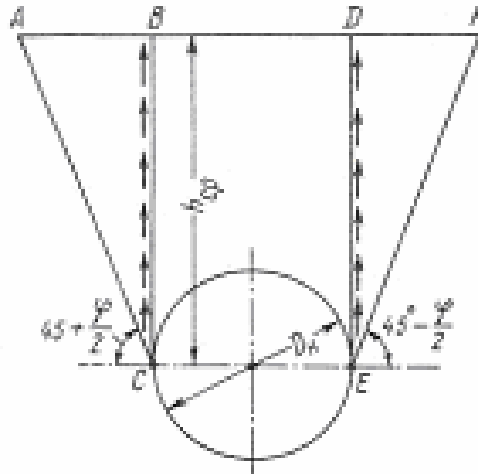


Рис. 1.5. Схема для определения давления грунта на трубу

В тех случаях, когда укладка трубопровода осуществляется на небольших глубинах h_{cp} в траншее, свод естественного равновесия может выйти на поверхность. Вертикальное давление грунта на трубу можно определять следующим образом. Будем считать, что на вводимое в грунт сооружение, например трубу (рис. 1.5), давит грунт, заключенный в области **BCED**; при этом учитывается, что сползанию вниз грунта препятствуют силы трения по плоскостям **BC** и **DE**. Силы трения принимаются равными $E_{акт} \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Таким образом, среднее давление грунта на уровне h_{cp}

$$q_{cp} = g_{есм} \cdot h_{cp} \cdot D_H - g_{есм} \cdot h_{cp}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} j . \quad (1.6)$$

При некотором значении h_{cp} среднее давление q_{cp} может стать равным нулю. Начиная с этой глубины ($h_{cp} = h_{св}$) будет образовываться свод естественного равновесия. Выполнив вычисления, найдем

$$h_{св} = \frac{D_H}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} j} . \quad (1.7)$$

Если расчетная величина $h_{св} > h_{cp}$, вертикальное давление грунта нужно определять по формуле (1.4), т. е. с учетом сводаобразования.

Формулы для определения среднего давления (1.4) и (1.6), высоты свода естественного равновесия (1.3), глубины $h_{св}$ могут быть использованы при расчетах подземных трубопроводов любого диаметра.

Теория М.М. Протодяконова условно применяется не только к сыпучим грунтам, но и к любым связным горным породам. В этом случае величина $f_{кр}$ уже является не только коэффициентом внутреннего трения, но и коэффициентом сопротивления сдвигу, который учитывает суммарное действие сил внутреннего трения и сцепления; он называется коэффициентом крепости,

Для связных грунтов коэффициент крепости определяется формулой:

$$f = tgj + \frac{c}{\sigma}, \quad (1.8)$$

где

tgj - угол внутреннего трения;

c – удельное сцепление;

σ – сжимающее напряжение, при котором определяется сопротивление связного грунта сдвигу.

Из формулы (1.6) следует, что с увеличением нормального напряжения σ , величина коэффициента крепости уменьшается, приближаясь к величине коэффициента внутреннего трения.

В скальных породах коэффициент крепости определяется в зависимости от кубиковой прочности породы на раздробление (R_c в $кГ/см^2$):

$$f_{кр} = 0,01R_c.$$

Численные значения коэффициентов крепости для некоторых грунтов соответствующие условные углы внутреннего трения приведены в табл. 1.1

Таблица 1.1. Коэффициенты крепости $f_{кр}$ (по М. М. Протодяконову) и условные углы внутреннего трения φ различных грунтов

№ п/п	Название	Коэффициент крепости $f_{кр}$	Условный угол внутреннего трения φ в град.
1	Пылуи, болотистый грунт, разжиженный грунт	0,3	9
2	Песок, мелкий гравий, насыпной грунт	0,5	27
3	Растительный грунт, торф, сырой	0,6	30

	песок, слабый глинистый грунт		
4	Глинистый грунт, лёсс, гравий	0,8	40
5	Плотный глинистый грунт	1	60
6	Щебенистый грунт, галька, разрушенный сланец, твердая глина	1,5	60
7	Мягкий сланец, мягкий известняк, мел, мерзлый грунт, мергель, цементированная галька и хрящ, каменистый грунт	2	65
8	Некрепкие сланцы, плотный мергель, разрушенный: песчаник	3	70
9	Крепкий глинистый сланец, некрепкие песчаники и известняки, мягкий конгломерат	4	70

1.3 Распределение давления грунта по периметру трубопровода

В рассмотренных случаях предполагается, что давление распределяется равномерно либо в пределах диаметра трубы, либо по ее периметру. Однако эксперименты показывают, что давление грунта по периметру трубы, уложенной в грунте, неравномерно; кроме того, распределение радиальных давлений в значительной мере зависит от гибкости сечения трубы, способности ее стенки изменять форму над нагрузкой.

Так, распределение давления грунта, определенное экспериментально, имеет вид, показанный на рис. 1.7.а для жесткой трубы и на рис. 1.7.б для гибкой трубы.

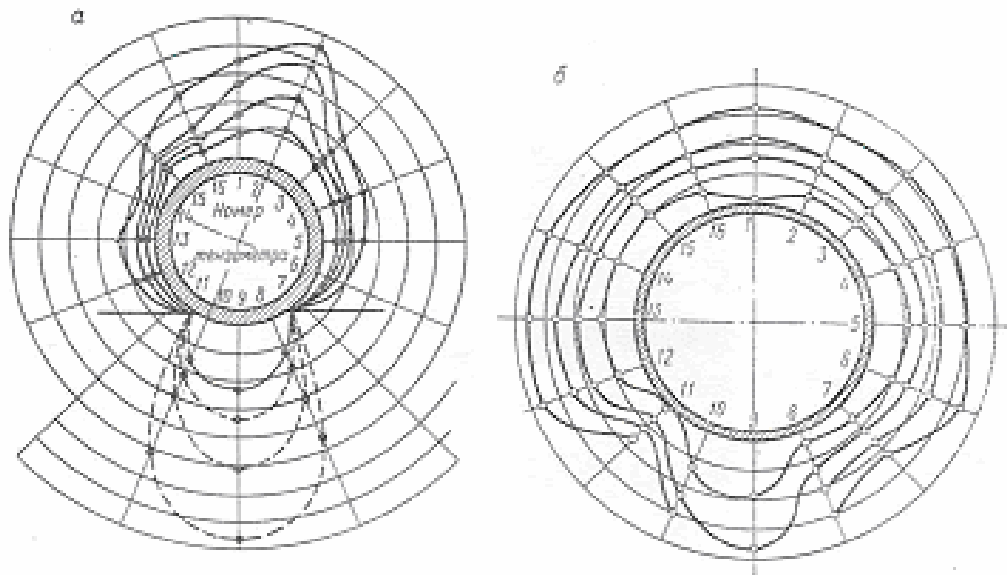


Рис. 1.7 Экспериментальное распределение давлений грунта по поверхности трубы

В первом случае вертикальное давление у верхней и нижней образующих трубы значительно больше бокового, а во втором - давление по периметру выравнивается, что можно объяснить расширением трубы при сплющивании ее от вертикального давления и соответствующим возрастанием бокового давления. Гибкая труба, деформируясь, стремится приобрести такую форму, при которой давление по периметру было бы близким к равномерному.

В технической литературе имеются решения, учитывающие неравномерность распределения давления. Одно из них, используя модель линейно-деформируемой среды, получил Г. К. Клейн для определения давлений по периметру трубы. Построенная по этим формулам эпюра давлений показана на рис. 1.8.

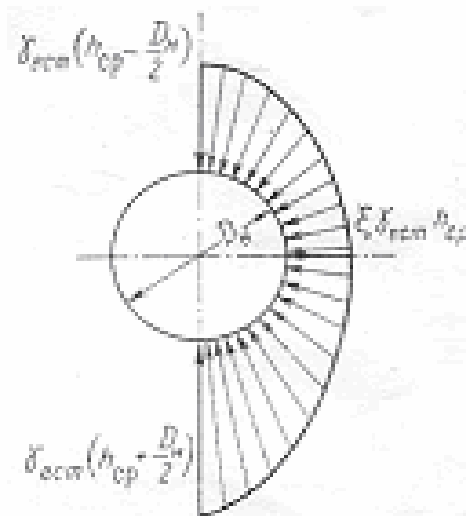


Рис. 1.8. Расчетная эпюра давления грунта на трубу

Аналогичное решение получено и в предположении, что грунт, окружающий трубопровод, находится в предельном напряженном состоянии. Для обеих расчетных моделей формула для определения радиальных напряжений имеет вид [3]

$$s = g_{есл} \cdot z \cdot (\cos^2 \alpha + \xi_0 \sin^2 \alpha), \quad (1.9)$$

где

z - глубина от дневной поверхности грунта до рассматриваемой точки на поверхности трубы;

α - угол, отсчитываемый по часовой стрелке от вертикали, проходящей через центр трубы, до направления на рассматриваемую точку;

ξ - коэффициент бокового давления. Если грунт является средой предельного напряженного состояния, то ξ заменяется на $\operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$.

Рассмотрим, далее, результаты решений, приведенных в пунктах 1, 2 и 3.

Прежде всего, можно отметить, что до настоящего времени нет рекомендаций, которые позволили бы получить достаточно достоверную картину распределения давлений по периметру подземного трубопровода с учетом его поперечной гибкости. Попытки усложнить простейшие решения, приведенные в пунктах 1 и 2, пока не дают ощутимых результатов. Поясним это на примере рис. 1.8. Используя решения теории

упругости для получения формулы (1.8), автор принимает допущение, что давление грунта по верхней образующей трубы равно $g_{\text{сст}} \left(h_{\text{ср}} - \frac{D_H}{2} \right)$.

Одно это допущение практически сводит получаемое решение к случаю, описанному в пункте 1. Если же учесть еще и то, что автор формулы (1.8) считает возможным не принимать во внимание изменение естественного напряженного состояния грунта, то по качеству результаты пункта 1 и пункта 3 равноценны.

Более интересными представляются результаты эксперимента, показанного на рис 1.7.б, на котором довольно четко видно приближение распределения давления грунта по периметру гибкой трубы к равномерному. Если же учесть, что трубопроводы работают в грунте десятки лет, то можно сказать, что в результате взаимодействия трубы с грунтом вокруг трубы установится более или менее равномерно распределенное давление. Причем для труб, укладываемых с последующей засыпкой грунтом, оно будет ближе к равномерному давлению, интенсивность которого определяется по формулам (1.1) или (1.6).

Для труб, прокладываемых методом ГНБ, q рекомендуется определять по формуле (1.4).

Трубы из ВЧШГ диаметрами 100-300 мм являются жесткими и деформации их в грунте (сплющивание) практически невозможны. Для этих труб более важным является определение сил сопротивления подземного трубопровода и при этом не имеет значение как распределено давление, важно знать его среднюю величину.

Эти величины определяются по приведенным выше расчетным формулам.

Величина вертикального давления J_g легко определяется как произведение давления грунта σ_g на диаметр трубы.

В этом случае:

$$J_B = n \cdot q_B \cdot D_H = n \cdot h_{cg} \cdot g \cdot D_H = \frac{n \cdot g \cdot D_H^2}{2 \cdot f} \left[1 + \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) \right], \quad (1.10)$$

где

n - коэффициент перегрузки, равный 1,5.

Величина бокового давления грунта с коэффициентом перегрузки $n_2=0,8$ будет равна:

$$J_B = n_2 \cdot q_B \cdot g_{cp} \cdot D_H \cdot \left(h_{cg} + \frac{D_H}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right), \quad (1.10)$$

где

n_2 - коэффициент перегрузки, равный 0,8.

Пример расчета

Определить вертикальное и боковое давление грунта на жесткую трубу из ВЧШГ с наружным диаметром $D_H = 32,5$ см, укладываемую методом ГНБ на большой глубине в песчаном грунте.

Объемный вес грунта $\gamma = 17$ кН/м и угол внутреннего трения $\varphi=30^\circ$.

Расчетный пролет разгружающего свода

$$B = D_H \left[1 + \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) \right] = 32,5 \cdot 2,15 = 0,7 \text{ м.}$$

Высота разгружающего свода при коэффициенте прочности $f = 0,6$ по формуле (1.4)

$$h_{cg} = \frac{B}{2 \cdot f} = \frac{0,70}{2 \cdot 0,6} = 0,58 \text{ м.}$$

Расчетная сила вертикального давления на трубу с коэффициентом перегрузки $n = 1,5$.

$$\begin{aligned} J_B &= n \cdot q_B \cdot D_H = n \cdot h_{cg} \cdot g \cdot D_H = \frac{n \cdot g \cdot D_H^2}{2 \cdot f} \left[1 + \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) \right] = \\ &= 1,5 \cdot 0,58 \cdot 17 \cdot 0,32 = 0,48 \text{ т / м} = 4,8 \text{ кН / м} \end{aligned}$$

Расчетное боковое давление с коэффициентом перегрузки $n_2=0,8$

$$\begin{aligned}
J_B &= n_2 \cdot q_B \cdot g_{ep} \cdot D_H \cdot \left(h_{ce} + \frac{D_H}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right) = \\
&= 0,8 \cdot 1,7 \cdot 0,325 \cdot \left(0,58 + \frac{0,325}{2} \right) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - 15^\circ) = \\
&= 0,8 \cdot 1,7 \cdot 0,325 \cdot (0,58 + 0,162) \cdot 0,25 = 0,08 \text{ м / м} = 0,8 \text{ кН / м}
\end{aligned}$$

Величина J_B значительно меньше, чем J_B и его можно не учитывать при расчетах.

Величины J_B для труб диаметрами 300 мм в грунтах Г-1 и Г-2 на глубине $H=3,0$ м составляют 18,4 кН/м. Значения Q для труб диаметрами 100-300 мм и коэффициентов запаса прочности приведены в табл. 4.3-4.7. СП 40-109-2006. Соотношение Q и J_B для труб диаметром 300 мм для глубины 3,0 м равно $18,5/4,8 = 3,9$. Для труб диаметрами 100-300 мм это соотношение лежит в пределах 1,5-3,3.

Таким образом, при прокладке труб из ВЧШГ диаметрами 100-300 мм методом ГНБ нагрузка от грунта на трубы в 2-5 раз меньше, чем при прокладке в траншее с обратной засыпкой. Из табл. 4.3-4.7 СП 40-109-2006 видно, что коэффициенты запаса прочности на внешнюю нагрузку для труб диаметрами 100-300 мм на глубине 3,0 м лежат в пределах 1,4-3,0.

Для плотного глинистого грунта (Г-IV) $f=1,0$, $\varphi=30^\circ$, $B=32,5(1+0,08)=32,8$ см, $h_{ce}=16,4$ см.

Для мягкого сланца, известняка, мела $f=2,0$, $\varphi=65^\circ$, $B=13,1$ см, $h_{ce}=6,5$ см.

Как видно из этих данных для труб диаметром 32,5 см сводообразование грунта Г-IV, Г-V возможно при $h_{ce}=13$ см. Поэтому расчет давления грунта для всех категорий грунта возможен при $h_{ce}>70$ см. При расчетах величины нагрузки от грунта при подземной прокладке методом ГНБ для глубин более 1,0 м можно принять $h_{ce}=0,7$ м.

Допустимое внутреннее давление для труб диаметром 100-300 мм при нагрузках от грунта и транспорта при $H=3,0$ м по СП 40-109-2006 лежит в пределах 30,0-8,0 МПа. Коэффициенты запаса прочности при такой нагрузке

и при $P_{раб}=1,6$ МПа лежат в пределах 18,0-5,0.

При укладке труб методом ГНБ коэффициенты запаса прочности возрастут как минимум в 3-4 раза.

Эти расчеты показали, что давление грунта на трубу, уложенную методом ГНБ много меньше, чем на трубу, уложенную в траншею или насыпи.

Следует отметить, что полученные расчетные данные для труб диаметрами 100-300 мм справедливы также для труб диаметрами 1000 мм и выше.

Рассмотрим этот случай для труб диаметрами 100 см и 140 см, укладываемых на глубине 500 см, грунт $\gamma_{есм}=0,017$ Н/см³, $c=1$ Н/см², $\varphi=26^0$.

По формуле (1.1) $q_{ср}$ для трубы диаметром 100 см равно 8,5 Н/см², для трубы диаметром 140 см равно 8,5 Н/см². Давления одинаковы.

Проверка сводообразования по формуле (1.3) $h_{св} (100 \text{ см})=139 \text{ см}$, $h_{св} (140 \text{ см})=200 \text{ см}$.

Средние давления при этих $h_{св}$ составят $q_{ср} (100 \text{ см})=2,36$ Н/см² и $q_{ср} (140 \text{ см})=3,4$ Н/см².

Давления различны и меньше чем определенные по формуле (1.1) для труб диаметром 100 см в 3,6, а для труб диаметром 140 см в 2,5 раза.

Если трубы укладываются в траншею с последующей засыпкой грунтом, то высоту свода следует определять по формуле (1.7).

В условиях данного примера $h_{св} (100 \text{ см})<530 \text{ см}$, $h_{св} (140 \text{ см})<750 \text{ см}$, т.е. больше $h_{ср}$.

Следовательно для обеих труб действительно $q_{ср}=8,5$ Н/см², определенное по формуле (1.1).

Как видно из этого примера, давление грунта при закрытой прокладке здесь также значительно ниже, чем при укладке труб в траншею.

2 Наземные нагрузки и их действие на подземные трубопроводы

2.1 Виды наземных нагрузок

Трубопроводы, уложенные под городскими проездами, автомобильными и железными дорогами, подвергаются действию подвижной динамической нагрузки от перемещающегося по поверхности земли транспорта.

При укладке труб на местности, которая впоследствии будет застраиваться, необходимо иметь ввиду последующее действие нагрузок от фундаментов зданий и других наземных сооружений. Во многих случаях влияние на трубы нагрузок, приложенных к поверхности земли, превышает действие всех остальных нагрузок, включая и давление засыпки

При расчете трубопроводов, укладываемых под автомобильными дорогами, нормативную временную вертикальную нагрузку от транспорта следует принимать от колонны автомобилей по схеме Н-10, Н-18.

Для трубопроводов, укладываемых не под дорогами и проездами, а в местах, где возможно движение автомобильного транспорта, следует принимать нагрузку от колонны автомобилей по схеме Н-18 или гусеничную нагрузку НГ-60.

При заглублении верха сооружения от 1,2 м и более нормативную вертикальную нагрузку от колонн автомобилей разрешается заменять равномерной нагрузкой интенсивностью 20 кН/м².

Для трубопроводов, укладываемых в местах, где движение автомобильного транспорта невозможно, для расчета принимается только равномерная нагрузка от пешеходов, равная 500 кг/м².

2.2 Статическое действие наземных нагрузок на трубопроводы

Распределение давлений в грунте.

Действие на трубопроводы нагрузок, приложенных к поверхности земли, зависит от распределения давления в грунте. На основании имеющихся экспериментальных и теоретических исследований можно считать установленным, что действительное распределение давлений в

грунте сходно с расчетным по уравнениям классической теории упругости для полупространства (уравнения Буссинеска).

При расчете труб в основном приходится пользоваться формулой Буссинеска для вертикальной составляющей напряжения, которая для случая действия на поверхности полупространства одной сосредоточенной силы имеет вид (рис. 2.1):

$$s_z = \frac{3 \cdot Q \cdot H^3}{2 \cdot p \cdot R^5} = 0,478 \frac{Q \cdot H^3}{(H^2 + r^2)^{\frac{5}{2}}}, \quad (2.1)$$

где,

Q – сосредоточенная сила;

H – глубина рассматриваемой точки полупространства от поверхности;

R – расстояние между точкой приложения силы и точкой, в которой определяется напряжение;

r – горизонтальная проекция этого расстояния.

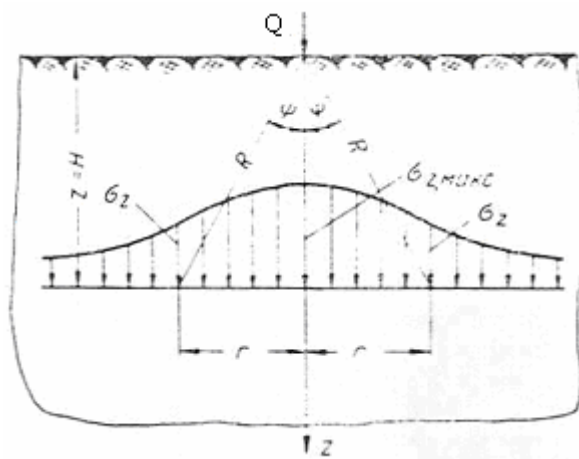


Рис. 2.1

Максимальное вертикальное напряжение имеет место непосредственно под точкой приложения силы и равно

$$s_{z, \text{макс}} = 0,478 \frac{Q}{H^2}, \quad (2.2)$$

Зная давление в каждой точке загруженного грунтового массива от действия сосредоточенной силы Q , приложенной на поверхности, можно путем интегрирования найти полное давление, передающееся на круговую

площадь радиуса a , находящуюся на глубине H от поверхности. Заменяв затем квадратный участок горизонтальной проекции трубы со стороной D_1 равновеликим кругом, можно получить следующую приближенную формулу для нагрузки, передающейся на единицу длины трубы

$$Q = \frac{Q}{D_1} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \frac{D_1^2}{p \cdot H^2}} \right]^{\frac{3}{2}} \right\}. \quad (2.3)$$

Под действием линейной нагрузки Q имеем

$$s_z = \frac{2 \cdot Q \cdot H^3}{p \cdot R^4} = 0,636 \frac{Q \cdot H^3}{(H^2 + x^2)^2}, \quad (2.4)$$

где

x – абсцисса рассматриваемой точки.

$$s_{z, \max} = 0,636 \frac{Q}{H}. \quad (2.5)$$

При наличии нескольких сосредоточенных грузов или распределенной нагрузки p , приложенных на поверхности земли, напряжения в данной точке определяются на основе принципа сложения действия сил. После интегрирования наибольшее напряжение от полосовой равномерной нагрузки интенсивностью p получается равным

$$s_{z, \max} = p \cdot \left[\frac{c}{\left(\frac{c}{2} \right)^2 + H^2} + \frac{2}{H} \cdot \operatorname{arctg} \frac{c}{2 \cdot H} \right], \quad (2.6)$$

где

c – ширина полосы.

В случае, когда интегрирование по площади оказывается трудно выполнимым, можно применить суммирование, разделяя загруженную площадь на отдельные достаточно малые элементы и заменяя нагрузку на каждый элемент ее равнодействующей.

Для облегчения пользования формулами (2.1) – (2.6) при определении давления от колес автомашин и гусеничной нагрузки приводятся составленные Союзводоканалпроектом и ВНИИ Водгео графики и таблицы, позволяющие определить полное нормативное вертикальное давление p_B на единицу площади горизонтальной проекции трубопровода для глубин заложения верха труб $H=0,5...8$ м (рис. 2.2)

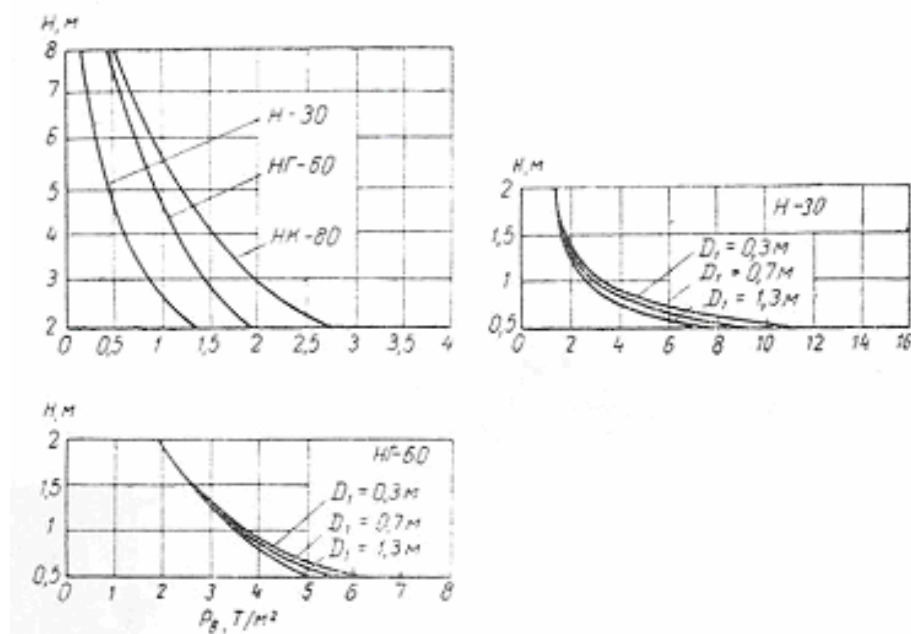


Рис. 2.2

При составлении графика для нагрузки HГ-30 рассматривалась трехосная 30-т грузовая автомашина (рис. 2.3), две задние оси которой располагались над продольной осью трубопровода в наиболее невыгодном положении. Коэффициент перегрузки в этом случае принимается равным 1,4.

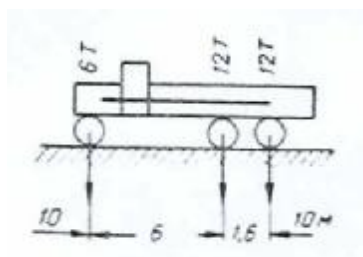


Рис. 2.3

При составлении графика для нагрузки HГ-60 рассматривалась 60-т гусеничная нагрузка при установке оси всей машины (рис. 2.4) или одной из гусениц над трубой вдоль ее продольной оси. Этот график позволяет

непосредственно определить полное нормативное статическое давление на 1 м длины трубы. Коэффициент перегрузки в этом случае принимается равным 1,1.

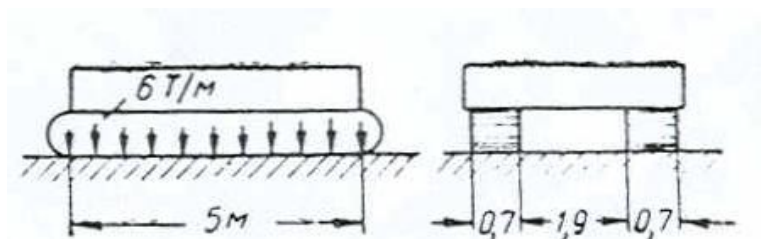


Рис. 2.4

Отметим, что для малых глубин заложения наиболее опасным является расположение одного колеса автомашины непосредственно над рассматриваемым поперечным сечением трубопровода, а для больших глубин заложения – симметричное расположение колес над рассматриваемым сечением.

При составлении графиков, приведенных на рис. 2.2 учтена неравномерность распределения этой нагрузки, как по ширине, так и по длине трубопровода, а также распределение нагрузки от колес. При составлении графиков не приняты во внимание концентрация давлений, имеющая место в сыпучих грунтах, и влияние самой трубы на напряженное состояние грунта. Однако для целей практики графики дают приемлемую точность результатов. Полная расчетная нагрузка на трубопровод будет

$$P_B = n \cdot p_B \cdot D_1. \quad (2.7)$$

Нормативная нагрузка на 1 пог. м длины трубопровода от проезжающего над ней подвижного состава железных дорог определяется по формуле

$$P_B = \frac{K \cdot D_1}{1,4 + 0,5 \cdot H}, \quad (2.8)$$

где

K – класс нормативной нагрузки от подвижного состава;

D_1 – наружный диаметр трубопровода;

H – высота засыпки от верха трубы до подошвы шпал.

Коэффициент перегрузки принимается равным 1,3.

Боковое давление учитывается коэффициентом активного давления и коэффициентом перегрузки $n=0,9$.

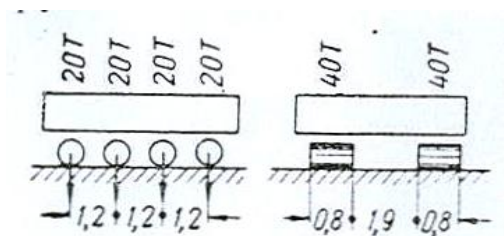


Рис. 2.5

Во всех случаях, когда трубопровод заложен на глубину $H \geq D_1$, можно считать давление на него от нагрузок, приложенных на поверхности земли, вертикальным и равномерно распределенным по всей горизонтальной проекции трубопровода при расчетной интенсивности p_B , равной наибольшему давлению.

На основании рассмотренных формул, графиков и схемы распределения нагрузок, показанных на рис. 2. составлены таблицы для равномерно распределенного давления, q , кН/м^2 , от транспортных нагрузок Н-10, Н-18 Н-30 и НГ-60 как наиболее часто принимаемые в расчетах на прочность подземных трубопроводов с обратной засыпкой.

Данные этих таблиц с некоторыми ограничениями могут быть использованы при расчетах подземных трубопроводов, прокладываемых методом ГНБ для труб ВЧШГ диаметрами 100-300 мм при глубинах $H \geq 3$ м. Как показано в разделе 1 $h_{св}$ сводообразование в песчаных грунтах для труб диаметром 300 мм лежит в пределах 0,6-0,7 м. Для наших расчетов примем $h_{св}$ для этой категории грунта 1,0-1,25 м, когда $Q_с$ от колонны автомобилей можно заменить на $q=20 \text{ кН/м}^2$. Для других видов грунта $h_{св}$ будет значительно ниже и, как показано в расчетах раздела 1, лежит в пределах 0,2-0,3 м.

Таблица 2.1

Глубина заложения H, м	Равномерно распределенное давление q , $кН/м^2$ от транспортной нагрузки Н-10 при наружном диаметре трубопровода D_n , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
1,0	16,5	16,5	16,5	16,2
1,25	11,0	11,0	11,0	11,0
1,5	8,4			
2,0	5,39			
3,0	3,63			
4,0	1,78			
5,0	1,19			
6,0	0,79			
7,0	0,39			
7,5	0,19			

Таблица 2.2

Глубина заложения H, м	Равномерно распределенное давление q , $кН/м^2$ от транспортной нагрузки НГ-60 при наружном диаметре трубопровода D_n , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
1,0	35,3	35,3	35,3	36,1
1,25	29,6	29,8	29,8	29,8
1,5	25,4			
2,0	18,7			
3,0	14,5			
4,0	11,4			
5,0	8,43			
6,0	6,18			
7,0	4,71			
7,5	4,31			

Таблица 2.3

Глубина заложения Н, м	Равномерно распределенное давление q , $кН/м^2$ от транспортной нагрузки Н-18 при наружном диаметре трубопровода D_n , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
1,0	23,1	28,1	26,1	27,7
1,25	18,3	18,3	18,3	18,1
1,5	13,4	13,4	13,4	13,3
2,0	8,43			
3,0	5,49			
4,0	3,04			
5,0	2,06			
6,0	1,57			
7,0	1,27			
7,5	1,08			

Таблица 2.4

Глубина заложения Н, м	Равномерно распределенное давление q , $кН/м^2$ от транспортной нагрузки Н-30 при наружном диаметре трубопровода D_n , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
1,0	29,9	29,9	29,9	29,6
1,25	21,5	21,5	21,5	21,4
1,5	16,3	16,3	16,3	16,2
2,0	13,0	13,0	13,0	12,9
3,0	8,53	8,53	8,53	8,48
4,0	5,59			
5,0	4,02			
6,0	2,94			
7,0	2,16			
7,5	1,96			

При рассмотрении таблиц 2.1-2.4 можно сделать вывод, что для труб с наружным диаметром 100-300 мм влияние транспортных нагрузок при глубинах заложения 1,2-3,0 м, в зависимости от видов нагрузок от колесного транспорта, уменьшается и при глубинах 2,0-3,0 м равномерно распределённое давление q составляет 3,6-8,5 $кН/м^2$. Для гусеничного транспорта (НГ-60) при глубине заложения труб 3,0 м q составляет 14,5 $кН/м^2$.

При глубинах заложения **6,0** м значения q для всех диаметров труб составляют **0,79, 2,94, 6,18** кН/м². Для заглубления на **7,5** м значения q будут равны соответственно **0,19, 1,08, 1,96** и **4,31** кН/м².

Наибольшие воздействия основных транспортных нагрузок наблюдаются на глубинах до **3,0** м.

Как показано выше, при образовании свода естественного равновесия величина воздействия грунта на трубу при подземной прокладке трубопроводов способом ГНБ в **2-4** раза ниже, чем при прокладке трубопроводов в траншее или насыпи с обратной засыпки грунтом.

Суммарная внешняя нагрузка на трубу от воздействия грунта и транспорта при прокладке трубопровода способом ГНБ будет ниже, чем при укладке труб в траншее и насыпи.

Поэтому расчет эксплуатационных нагрузок от грунта и транспорта и воздействия внутреннего давления трубопроводов методом ГНБ в настоящее время рекомендуется проводить в соответствии с СП **40-109-2006**. В этом случае запас прочности труб при прямолинейной зависимости $Q - P$ увеличивается при комбинированной нагрузке.

Учитывая, что воздействие грунта и транспорта при глубинах заложения от **3,0** до **8,0** м уменьшается в несколько (**4-10**) раз, прокладка труб на указанные глубины безопасна с точки зрения прочности и надежности труб. Если принять закон затухания воздействия и транспортных нагрузок на глубинах свыше **8,0** м, а воздействие грунта при образовании h_{ce} также не изменяющимся при образовании свода естественного равновесия начиная с глубины **1,2-2,0** м, то на глубинах свыше **8,0** м (до **20** м) силовое воздействие на трубу будет меньше, чем при $H=3,0$ м.

Следовательно, обеспечивается безопасная прокладка трубопровода с точки зрения прочности, надежности и долговечности трубопровода на глубинах свыше **8,0** м. Глубина прокладки трубопроводов методом ГНБ на этих глубинах ограничивается только возможностью буровой установки и локационной техники.

При дальнейшем заглублении трубопровода до 20 м следует ожидать только уменьшения воздействия транспортных нагрузок на трубу, т.е. при заглублении $H \geq 3,0$ м коэффициент запаса прочности труб на внешнюю нагрузку и внутренне давление будет увеличиваться.

Для труб диаметрами 100-300 мм рассмотренная схема расчета на прочность также может считаться оптимальной, т.к. высокие коэффициенты запаса прочности на поперечный изгиб обеспечивают надежную работу при прогибах в центре пролета до 20-40 см. Пример расчет на этот вид нагрузки труб ВЧШГ приведен в СП 40-109-2006.

Следует отметить, что экспериментальные и теоретические исследования давления грунта на трубы, прокладываемые методом ГНБ, отсутствуют, поэтому предложенная схема расчета может считаться оправданной только для труб диаметрами 100-300 мм. Для труб диаметром свыше 300 мм методику расчета на прочность следует рассмотреть в дальнейшем.

3 Несущая способность трубопровода в осевом продольном направлении. Монтажные нагрузки при проектировании трубопровода из ВЧШГ в расширенную пилотную скважину

Технологией прокладки подземных трубопроводов методом ГНБ предусматривается применение труб с соединениями типа ВРС методом протяжки через расширенную пилотную скважину. Применение соединений ВРС предохраняет расстыковку труб при воздействии осевого растягивающего усилия, которое может быть значительным.

Величина σ_{cp} для ВЧШГ не регламентируется ГОСТ 7293-85, поэтому их значения необходимо определить расчетным и экспериментальным путем.

В таблице 3.1 приведены данные об основных и механических свойствах ВЧШГ марок ВЧ-35 – ВЧ-50, к которым может быть отнесён чугун, используемый для производства труб способом центробежного литья. Таблица 3.1 Данные о механических свойствах ВЧШГ, не предусмотренные ГОСТ 7293-85 [6].

Марка чугуна	Предел прочности, МПа				Предел прочности, МПа			
	При изгибе	При изгибе	При кручении	При срезе	При изгибе	При изгибе	При кручении	При срезе
ВЧ-35	700	1200	400	320	440 (0,62)	760 (0,64)	250 (0,62)	200 (0,62)
ВЧ-40	800	1400	420	340	540 (0,67)	930 (0,67)	280 (0,67)	230 (0,67)
ВЧ-45	850	1500	440	360	620 (0,73)	1100 (0,73)	320 (0,72)	260 (0,72)
ВЧ-50	900	1600	520	400	630 (0,70)	1120 (0,70)	360 (0,70)	280 (0,70)

Таблица 3.2 Марки и механические свойства ВЧШГ по ГОСТ 7293-85 [6].

Марка чугуна	S_{ep} , МПа	$S_{0,2}$, МПа	s_{ep}^{cp} , МПа (срез)	$s_{тек}^{cp}$, МПа (срез)
	Не менее			
ВЧ-35	350	220 (0,62)	320 (0,90)	200 (0,90)
ВЧ-40	400	250 (0,62)	340 (0,85)	230 (0,92)
ВЧ-45	450	310 (0,69)	360 (0,80)	260 (0,83)
ВЧ-50	500	320 (0,70)	400 (0,80)	280 (0,87)

В скобках приведено соотношение S_{ep} при различных видах нагрузки и $S_{тек}$.

Как видно из таблицы 3.1 соотношение между пределом прочности и пределом текучести при различных видах нагрузок лежит в пределах 0,69-0,73 и среднем составляет 0,7. Отношение S_{σ} и S_{τ} при чистом растяжении чугуна производства ОАО ЛМЗ «Свободный сокол» составляет 0,7, что и отражено в СП 40-109-2006, такое соотношение $S_{\sigma}/S_{\tau} = 0,7$ характерно также для труб по EN 545-2002.

Указанная таблица 3.1 соответствует таблице 4.14 справочника «Чугун» под редакцией Шермана.

В соответствии с таблицей 3.1 выполнена таблица 3.2, где приведены данные о S_{ep} при чистом растяжении и s_{ep}^{cp} для указанных выше марок чугуна.

Как видно из этих данных отношение σ_p/S_{ep}^{cp} лежит в пределах **0,8-0,91** и в среднем составляет **0,8**, соотношение $\sigma_{тек}/\sigma_{0,2}$ лежит в пределах **0,9-0,83** и в среднем составляет **0,85**.

Исходя из этих данных, в первом приближении можно принять для ВЧШГ производства ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол» при соотношении **0,85** $S_{ep}^{cp} = 420 \cdot 0,85 = 357 \approx 360$ МПа. Величина $S_{тек}^{cp} = 360 \cdot 0,85 = 300$ МПа.

По нашим экспериментам, величины S_{ep}^{cp} при доверительной вероятности $p=0,997$ равно **450** МПа.

Для расчетов несущей способности трубопровода на срез при осевой нагрузке на трубопровод принимаем $S_{тек}^{cp} = 300$ МПа.

Учитывая, что валик, приваренный на гладкий конец трубы, не является однородным и не лежит точно в одной плоскости, целесообразно в первом приближении принять коэффициент условия работы при срезе валика равным **0,8**.

Тогда расчетное сопротивление срезу R_{cp} при упругой работе материала ВЧШГ будет равно **240** МПа.

С учетом изложенного, несущая способность трубы при растяжении в осевом направлении будет равна

$$Q_p = F \cdot S_{cp} = \frac{1}{2} p \cdot d_H \cdot d \cdot R_p, \quad (3.1)$$

где

F – площадь среза наварного валика;

d_H – наружный диаметр трубы;

δ – ширина наварного валика.

Ширина наварного валика для труб диаметром **100-150** мм $\delta=6$ мм, диаметром **200-300** мм – **7** мм.

Подставляя d_H и δ в формулу (3.1), получаем:

для труб диаметром **100** мм $Q=26,18$ т=**261,8** кН;

для труб диаметром **150** мм $Q=380,8$ кН;

для труб диаметром 200 мм $Q=583,1$ кН;

для труб диаметром 250 мм $Q=725,9$ кН;

для труб диаметром 300 мм $Q=856,8$ кН.

Оценить коэффициенты запаса прочности при протяжке трубы через расширенное отверстие размером пилотной скважины довольно сложно, т.к. необходимо учитывать ряд факторов пока остающихся неизвестными или малоизученными.

Учитывая, что диаметр расширенной пилотной скважины на 25-30 % больше, чем диаметр раструба, а протягивание трубы происходит при постоянной подаче бентонитного раствора, трение трубы о стенки скважины незначительно и мало влияет на величину осевой нагрузки трубы при протягивании.

Состав бентонита подбирается в зависимости от вида грунта, а бентонит выполняет две функции: смазывает поверхность протягиваемой трубы и укрепляет свод естественного равновесия, препятствуя его обрушению в процессе протяжки трубы.

Предварительные расчеты показали, что несущая способность трубы в осевом направлении достаточна для осуществления протяжки трубы в расширенную скважину. Для снижения осевого нагружения трубы при подаче труб уже соединенного трубопровода (линейный метод) плетью трубопровода необходимо подавать с помощью роликов. Одновременно такой способ транспортировки плетей труб позволит предотвратить повреждение покрытий труб о наружную поверхность грунта.

ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол» провел лабораторные испытания и расчет на прочность при осевом Q_c растяжении на срез соединения типа ВРС, результаты которых приведены в таблице 3.3.

В таблице 3.3 приведены сравнительные допустимые нагрузки при осевом Q_c растяжении труб с соединением типа ВРС, а также величины предельного тягового усилия Q_m машин ГНБ при максимальном расширении D_{max} пилотной скважины для диаметров 100-300 мм и коэффициента запаса

прочности трубы K_3 на срез при действии тягового усилия машин HL518L, ZT-10(3) и ZT-15.

Таблица 3.3 Прочностные показатели труб и монтажных нагрузок

$D_H,$ мм	Величины осевых нагрузок, кН			$D_M,$ мм	$Q_M,$ кН	Коэффициенты запаса прочности			
	Q_0^c	Q_1^c	Q_2^c			$k_1 = \frac{Q_0^c}{Q_M}$	$k_2 = \frac{Q_1^c}{Q_M}$	$k_3 = \frac{Q_0^c}{Q_2^c}$	$k_4 = \frac{Q_1^c}{Q_2^c}$
100	261,8	250	44,5	240	100	2,6	2,5	5,8	5,6
150	380,8	350	89,0	300	100	3,8	3,5	4,2	3,9
200	583,1	500	133,4	380	150	3,8	3,3	4,3	3,7
250	725,9	650	200,2	450	150	4,8	4,3	3,6	3,2
300	856,8	800	266,9	500	150	5,7	5,3	3,2	3,0

В таблице 3.3 следующие обозначения:

Q_0^c - расчетная несущая способность труб, кН;

Q_1^c - лабораторные результаты испытаний разрушения соединения типа ВРС при осевой нагрузке по данным ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол», кН;

Q_2^c - рекомендуемая допустимая осевая нагрузка по данным DIPRa (США), кН.

Как видно из таблицы 3.3 коэффициенты запаса прочности труб из ВЧШГ лежат в пределах 3,0-5,7, что указывает на невозможность повреждения трубы в стыке типа ВРС при протягивании трубы в расширенную скважину. В случае застревания трубы в скважине возможно обратное вытягивание труб для повторного монтажа без повреждения трубы с соединением типа ВРС. Такие запасы прочности гарантируют также герметичность соединения с доверительной вероятностью $p \geq 0,997$.

На практике, учитывая криволинейный характер траектории укладки труб методом ГНБ, следует руководствоваться допустимыми осевыми нагрузками, указанными ассоциацией DIPRa (США).

Проведенные выше исследования послужили основой для разработки «Руководства по прокладке подземных трубопроводов методом горизонтально-направленного бурения с применением труб из ВЧШГ».