

**МИНИСТЕРСТВО
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(министром России)

ПРИКАЗ

от " 8 " апреля 2015 г.

№ 259/пр

Москва

Об утверждении Изменения № 1 к СП 66.13330.2011 «Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом»

В соответствии со статьей 16 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», Правилами разработки и утверждения сводов правил, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858, подпунктом 5.2.9 пункта 5 Положения о Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1038, **приказываю:**

1. Утвердить и ввести в действие с 30 апреля 2015 года прилагаемое Изменение № 1 к СП 66.13330.2011 «Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом».

2. Департаменту градостроительной деятельности и архитектуры обеспечить опубликование на официальном сайте Министра России в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» текста утвержденного Изменения № 1 к СП 66.13330.2011 «Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом» в электронно-цифровой форме в срок до 15 мая 2015 года.

3. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на заместителя Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Ю.У. Рейльяна.

И.о. Министра

Л.О. Ставицкий

УТВЕРЖДЕНО

приказом Минстроя России

от 8 апреля 2015 года № 259/пр

**Изменение № 1 СП 66.13330.2011 «Проектирование и
строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с
применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным
графитом».**

Содержание дополнить новыми разделами:

- 9 Проектирование трубопроводов из ВЧШГ на слабых грунтах
 - 9.1 Общие положения
 - 9.2 Прочность основания
 - 9.3 Определение нагрузок, действующих на подземные трубопроводы из ВЧШГ открытой, подземной прокладки на слабых грунтах
 - 9.4 Определение расчетных изгибающих моментов. Расчет на прочность
 - 9.5 Пример расчета на прочность трубопроводов из ВЧШГ при укладке на слабое основание при подземной прокладке
- 10 Проектирование трубопроводов из ВЧШГ на просадочных грунтах
 - 10.1 Основные положения расчета на прочность и деформативность труб на просадочных грунтах
 - 10.2 Расчёт труб и соединений типа «*RJ*» и «*RJS*» на прочность
 - 10.3 Несущая способность трубы в продольном направлении
- 11 Упорные блоки и зажимные приспособления для противодействия силам от осевого гидравлического давления

Изменение № 1 СП 66.13330.2011

«Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом».

УТВЕРЖДЕНО и введено в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 8 апреля 2015 г. № 259/пр

Введение

Четвертый абзац после слов «бестраншейной прокладки труб из ВЧШГ» дополнить словами: «в слабых и просадочных грунтах».

Пятый абзац изложить в новой редакции:

В своде правил рассматривают применение труб из ВЧШГ в зависимости от способа, места прокладки напорных трубопроводов и грунтовых условий, поэтому применение труб дифференцируют по способу прокладки трубопроводов:

- а) открытая прокладка трубопроводов в траншеях и насыпи;
- б) надземная прокладка в коллекторах, тоннелях, переходах через реки, в горных условиях;
- в) способ горизонтально-направленного бурения (ГНБ). Распространяется на подземные напорные трубопроводы сетей водоснабжения и водоотведения, прокладываемые бестраншейным способом.

Дополнить новыми абзацами после шестого:

Трубы из ВЧШГ рассматриваемые в настоящем своде правил и в изменении к нему предназначены для строительства напорных сетей водоснабжения и водоотведения на городских застроенных и незастроенных территориях, а также для сельскохозяйственного водоснабжения и мелиоративных систем.

СП 66.13330 с Изменением № 1 не распространяется на закарстованные и подрабатываемые территории. В Изменении № 1 рассматривают подземную прокладку трубопроводов открытой разработки с обратной засыпкой вынутым грунтом.

Изменения к своду правил разработаны ОАО «МосводоканалНИИпроект»- (руководители разработки канд.техн.наук *А.Д.Алиферинов*, д-р техн. наук *О.Г.Примин*, д-р техн. наук *Е.И.Пупырев*), ООО «Липецкая трубная компания «Свободный Сокол» (инж. *И.Н.Ефремов*, инж. *Б.Н.Лизунов*, инж.*А.В.Минченков*), ГУП "НИИмосстрой" (д-р техн. наук *В.Ф.Коровяков*)».

Раздел 2 дополнить новыми ссылками: «ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация, СП 21.13330.2012 «СНиП 2.01.09-91 Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах»».

Свод правил дополнить новыми разделами 9-11:

«9 Проектирование трубопроводов из ВЧШГ на слабых грунтах

9.1 Общие положения

9.1.1 В соответствии с классификацией таблицы Б.1 ГОСТ 25100 к категориям низкой и слабой прочностей относятся грунты прочностью 1-3 МПа. Прокладка трубопроводов на такие грунты из труб других материалов представляет значительные трудности и трубопроводы укладывают на усиленное или искусственное основание.

9.1.2 В настоящем разделе рассматривают работу трубопроводов из ВЧШГ прокладываемых на грунтах прочностью до 1,0 МПа, прокладку трубопроводов из ВЧШГ на болотистых и заторфованных и карстовых грунтах прочностью менее 1,0 МПа в настоящем разделе не рассматривают.

9.1.3 Давление грунта на трубу круглого сечения определяют действием следующих напряжений

$$\sigma_v = \gamma H; \quad (9.1)$$

$$\sigma_r = \xi_0 \gamma H, \quad (9.2)$$

где σ_v – вертикальная составляющая давления, МПа;

σ_r - горизонтальная составляющая давления, МПа;

ξ_0 – коэффициент бокового давления грунта;

H – высота засыпки трубы, м.

Боковое горизонтальное давление грунта (отпор грунта) характеризует коэффициент η . Значения этого коэффициента в зависимости от ξ_0 и способов укладки труб из ВЧШГ приведены в таблице 9.1

Т а б л и ц а 9.1 - Значение коэффициента η

Наименование давления	Коэффициент бокового давления грунта ξ_0	Способ опирания трубы		
		На плоскости $2\alpha = 0^\circ$	На плотное основание $2\alpha = 90^\circ$	На слабое основание $2\alpha = 90^\circ$
Основное давление грунта в насыпи	0	1,0	1,0	1,0
	1/3	0,81	0,81	0,817
	1/2	0,65	0,6	0,623
Давление грунта в траншее	0	1,0	1,0	1,0
	1/3	0,861	0,761	0,80
	1/2	0,79	0,612	0,699

9.1.4 По таблице 9.1 для трубопроводов, укладываемых на слабый грунт при $\xi_0 = 0$ принимаем $\eta = 1$ как для условий укладки в насыпи, так и в траншее, без учета отпора грунта.

9.1.5 При прокладке трубопроводов из ВЧШГ в слабых грунтах применяют трубы из ВЧШГ с замковыми усиленными соединениями типов «RJ» и «RJS», а также с соединениями типа «TAYTON» (при устройстве упоров) диаметрами 80 -1000 мм различных классов прочности.

9.1.6 В настоящем разделе приведены методы расчета труб из ВЧШГ на их прочность, жесткость и устойчивость в кольцевом, тангенциальном направлениях при совместном воздействии внутреннего давления и внешних нагрузок от грунта засыпки.

9.1.7 Расчеты позволяют установить виды и значения нагрузок, действующих на подземный напорный трубопровод при прокладке труб из ВЧШГ на слабых грунтах, определить несущую способность и коэффициенты запаса прочности, а также выбрать класс прочности труб.

9.1.8 В настоящем разделе приведены также расчеты на прочность и несущую способность труб в продольном осевом направлении от воздействия внутреннего рабочего и испытательного давления, а также совместное воздействие кольцевых и осевых нагрузок при укладке труб на слабые грунты.

9.1.9 Расчет трубопроводов на прочность, жесткость и устойчивость проводят для следующих постоянных нагрузок:

внутреннего давления при отсутствии внешних нагрузок;
на опорожненный трубопровод действие нагрузки от давления грунта засыпки;
внутреннего давления воды, действующего также в горизонтальном осевом направлении.

За исходные значения прочности и расчетных напряжений принимают расчетную прочность $R_p = 300$ МПа и $R_{cp} = 240$ МПа -напряжение среза упорного валика замковых соединений типов «RJ» и «RJS»;

9.1.10 Для слабых грунтов расчет подземных трубопроводов проводят из условий насыпи $B \ll D_n$,

где B – ширина траншеи или насыпи, м;

D_n – наружный диаметр трубы, см.

В этом случае горизонтальная составляющая от вертикальной нагрузки отсутствует.

9.1.11 На слабых грунтах невозможно движение колесного и гусеничного транспортов, поэтому расчет трубы на воздействие транспортных нагрузок не проводят. При укладке труб в футляры под дорогами возможно движение транспорта. Футляры принимают по СП 35.13330.

9.2 Прочность основания

9.2.1 При укладке трубопровода на прочное основание достаточно выровнять дно траншеи без дополнительной подсыпки песка.

При укладке трубопровода на слабое основание необходимо проверять прочность грунтов основания от воздействия всех суммарных нагрузок R , действующих на трубопровод.

9.2.2 Реакцию R заменяют равномерно распределенной нагрузкой по всей ширине опорной поверхности

$$q = \frac{R}{D_n \sin \alpha}, \quad (9.3)$$

где R – значения опорных реакций всех вертикальных расчетных сил, действующих на трубопровод диаметром D_n , кН,

q – распределенная нагрузка, МПа/м,

D_n – наружный диаметр трубы, см,

α – угол опирания трубы основанием, град.

9.2.3 Значение q не должно превышать прочность грунта основания, значения которой необходимо определять по результатам полевых испытаний грунта. Если такие данные отсутствуют значения q принимают по 6.12 ГОСТ 25100 или СП 21.13330.

9.2.4 Если прочность грунта связного основания недостаточна (менее 1 МПа), то необходимо улучшить основание в соответствии с требованиями 11.30 СП 31.13330.

9.3 Определение нагрузок, действующих на подземные трубопроводы из ВЧШГ открытой, подземной прокладки на слабых грунтах

9.3.1 Нагрузки, действующие на подземные трубопроводы, разделяют на внутренние и внешние.

К внутренним нагрузкам относятся внутреннее рабочее давление транспортируемой жидкости, давление при гидравлическом ударе, испытательное давление.

К внешним нагрузкам относятся:

- давление грунтовой засыпки;
- собственная масса трубопровода;
- масса транспортируемой воды;
- атмосферное давление при образовании в трубопроводе вакуума.

9.3.2 При определении нагрузок в насыпи следует учитывать:

- способ опирания трубы на основание (на плоское слабое основание, на профилированное слабое основание);
- глубину заложения трубы, определяемую высотой засыпки грунта над ее верхом.

9.3.3 Значение равнодействующей расчетной вертикальной нагрузки от грунта засыпки $Q_{гр}^в$, кН/м, определяется при укладке в насыпи по формуле

$$Q_{гр}^в = n \gamma H D_n K_n \quad (9.4)$$

где: D_n - наружный диаметр трубы, см;

n - коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,5;

γ - нормативный удельный вес грунта засыпки, кН/м³, для слабых грунтов равный 16,7-16,8;

H - высота засыпки над верхом трубы, м;

K_n - коэффициент концентрации давления грунта засыпки. В общем виде K_n выражается формулой:

$$K_n = 1 + \frac{H}{D_n} \xi_0 \operatorname{tg} \varphi, \quad (9.5)$$

где D_n - наружный диаметр трубы, м;

ξ_0 - коэффициент горизонтального давления грунта (отпора). При $\xi_0=0$ коэффициент $K_n=1$;

$tg \varphi$ – угол внутреннего трения грунта.

9.3.4 С учетом вышеизложенного значение равнодействующей внешней вертикальной нагрузки от грунта засыпки, кН/м, определяют по формуле

$$Q_{гр}^в = n \gamma H D_n. \quad (9.6)$$

9.3.5 Равнодействующую расчетную вертикальную нагрузку от собственного веса трубопровода определяют по формуле:

$$Q_1 = n Q', \quad (9.7)$$

где: n - коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,1;

Q' - теоретическая масса трубы, кН/м.

9.3.6 Равнодействующую расчетную вертикальную нагрузку от веса транспортируемой воды Q_2 , кН/м, определяют по формуле

$$Q_2 = n \frac{\pi}{4} \gamma_n D_n^2, \quad (9.8.)$$

где n - коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным 1,0;

D_n - внутренний диаметр трубы, см;

γ_n - удельная масса транспортируемой воды, для питьевой воды равна 9,8, а для сточной жидкости – 10,4, кН/м³.

Значение коэффициента K_n для различных грунтов и способов укладки труб выбирают из таблицы 9.2,

где E_0 - модуль упругости грунта основания, МПа;

$E_{гр}$ - модуль упругости засыпки, МПа.

Т а б л и ц а 9.2 - Значение коэффициента K_n для различных грунтов и способа укладки трубы

Наименование и характеристика грунта основания.	$\frac{E_0}{E_{гр}}$	Плоское основание	Профилированное основание под углом охвата трубы 2α		
			60	90	120
1 Скальные, глинистые очень прочные	∞	1,6	1,6	1,6	1,6
2 Пески крупные, средней крупности и мелкие прочные.	4,5	1,4	1,43	1,43	1,47

Глинистые прочные грунты					
3 Пески крупные, средней крупности и мелкие средней плотности	2-3	1,3	1,3	1,3	1,3
4 Глинистые грунты средней прочности	2-3	1,3	1,3	1,3	1,3
5 Пески гравистые крупные, средней крупности и мелкие рыхлые	До 1	1,15	1,15	1,2	1,25
6 Пески пылеватые средней плотности	2-3				
7 Глинистые грунты слабые	До 1,0				
8 Пески пылеватые рыхлые. Грунты текучие	0	1,0	1,0	1,0	1,0

9.4 Определение расчетных изгибающих моментов. Расчет на прочность

9.4.1 Трубопровод должен быть рассчитан на прочность, жесткость и устойчивость.

Параметры расчета на прочность, схема нагружения и схема опорных моментов приведены в таблице 5.7.

Значения расчетных коэффициентов для определения изгибающих моментов для слабых грунтов основания приведены в нижней части таблицы 5.12. Расчет приведен только для значения максимального момента M_A в точке А.

9.4.2 Значения расчетных изгибающих моментов в лотке трубы (точка А) от воздействия внешних нагрузок и опорных моментов определяют в соответствии со схемами, приведенными в таблицах 5.7 и 5.12.

Значение расчетного момента от внешних грунтовых нагрузок определяют по формуле

$$M_A = 0,294 Q r_{cp} h. \quad (9.9)$$

9.4.3 Значение момента от собственной массы трубопровода и наполнителя (воды) определяют по формуле

$$M_A = 0,239 Q r_{cp}, \quad (9.10)$$

где r_{cp} – срединный радиус поверхности, см.

9.4.4 Значение опорного момента при укладке на спрофилированное основание для слабых грунтов составляет:

$$M_A^r = 0,04Qr_{cp} \text{ при } 2\alpha = 30^\circ;$$

$$M_{rA}^r = 0,073Qr_{cp} \text{ при } 2\alpha = 60^\circ;$$

$$M_A^r = -0,098Qr_{cp} \text{ при } 2\alpha = 90^\circ;$$

$$M_A^r = -0,114Qr_{cp} \text{ при } 2\alpha = 120^\circ.$$

9.4.5 Расчетные изгибающие моменты кольца трубы равны алгебраической сумме моментов от нагрузок и опорных моментов. С учетом этого расчетные моменты от действия внешних нагрузок при опирании трубы на плоское основание ($2\alpha = 30^\circ$) в точке А будут равны:

$$M_r = 0,252 \cdot Q_z r_{cp} \quad (9.11)$$

$$M_{тр} = 0,199 \cdot Q_{тр} r_{cp};$$

$$M_w = 0,199 \cdot Q_w r_{cp}.$$

где M_r - момент от воздействия нагрузки от грунта засыпки, кНм;

$M_{тр}$ - момент от воздействия массы трубы, кНм;

M_w - момент от воздействия массы воды, кНм.

Моменты от воздействия горизонтальных нагрузок отсутствуют.

9.4.6 Суммарный расчетный момент, кНм, от воздействия всех нагрузок равен:

$$M_0 = M_r + M_{тр} + M_w. \quad (9.12)$$

9.4.7 Расчетная эквивалентная нагрузка $Q_{экр}$, (кН/м), приведенная к двум диаметрально противоположным нагрузкам, равнозначна по своему действию нагрузкам, действующим в реальных условиях

$$Q_{экр} = \frac{M_0}{0,318 \cdot r_{cp}}, \quad (9.13)$$

где M_0 – суммарный расчетный изгибающий момент, кНм;

r_{cp} - срединный радиус трубы, см.

9.4.8 Расчет на прочность труб при действии на трубопровод внутреннего давления при отсутствии внешней нагрузки проводят в соответствии с разделом 5.9.

9.4.9 Расчет труб на совместное воздействие внешних нагрузок и внутреннего давления проводят в соответствии с разделом 5.8, в котором указаны значение несущей способности труб на отдельные нагрузки Q_0 и P^0 и график несущей способности труб

Продолжение ИЗМЕНЕНИЯ № 1 к СП 66.13330.2011

про совместном воздействии Q_0 и P^0 .

9.4.10 Расчет трубопровода на прочность, жесткость и устойчивость проводят в соответствии с разделами 5.11 и 5.12

9.4.11 Трубопровод рассчитывают на следующие нагрузки и их сочетания:

- при действии внешних нагрузок;
- на устойчивость от внешних нагрузок;
- на жесткость (по деформациям) при внешнем нагружении расчетной приведенной нагрузкой;
- на прочность от воздействия внутреннего давления;
- на прочность кольца трубы при совместном воздействии внешних нагрузок и внутреннего давления воды.

9.5 Пример расчета на прочность трубопроводов из ВЧШГ при укладке на слабое основание при подземной прокладке

9.5.1 Исходные данные для расчета:

- труба класса К-9;
- наружный диаметр $D_{\text{н}} = 63,5$ см;
- толщина стенки трубы $h = 9,9$ мм;
- модуль упругости Юнга $= 1,7 \cdot 10^5$ МПа;
- несущая способность трубы на внутреннее давление $P^0 = 9,7$ МПа;
- расчетное сопротивление материала трубы на растяжение $R_p = 300$ МПа;
- глубина заложения трубы от уровня земли до верха трубы, $H = 2,0$ м;
- удельная масса грунта засыпки в насыпи 16,7 кН/м (мелкие пески, категория грунта Г-II);
- модуль деформации грунта засыпки $E_{\text{гр}} = 1,0$ МПа;
- расчетное внутреннее гидростатическое давление в трубопроводе $P_{\text{раб}} = 1,6$ МПа;
- атмосферное давление при образовании в трубопроводе вакуума $P_{\text{вак}} = 0,1$ МПа;
- укладка труб в насыпь;
- коэффициент надежности по нагрузке $n=1,15$;
- коэффициент, учитывающий боковое давление грунта $\xi = 0$.

9.5.2 Определяют параметр, характеризующий жесткость трубопровода:

$$P_{\text{л}} = 2E \left(\frac{4}{d-4} \right)^3 = 2 \cdot 1,7 \cdot 10^5 \left(\frac{9,9}{63,5-9,9} \right)^3 = 1,35 \text{ МПа};$$

Коэффициент концентрации давления грунта $K_{\text{н}} = 1$;

9.5.3 Значение равнодействующей от давления грунта в насыпи составляет:

$$Q_{\text{сп}}^{\text{с}} = n \cdot j \cdot \gamma \cdot H \cdot D_{\text{н}} = 1,15 \cdot 16,7 \cdot 0,635 \cdot 2,0 = 24,4 \text{ кН/м.}$$

9.5.4 Определяют равнодействующую расчетной нагрузки от собственной массы трубы из ВЧШГ:

$$Q = n\pi\gamma_{\text{тр}} h(D_{\text{н}} - h) = 1,15 \cdot 3,14 \cdot 72,6 \cdot 0,0099(0,635 - 0,0099) = 1,552 \text{ кН/м;}$$

$$\gamma_{\text{тр}} = 72,6 \text{ Кн/м}^3$$

9.5.5 Определяют равнодействующую расчетной вертикальной нагрузки от массы транспортируемой воды:

$$Q_2 = 0,25n \cdot \pi\gamma_{\text{в}} D_{\text{вн}}^3 \cdot \varepsilon = 0,25 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 9,8(0,635 - 2 \cdot 0,0099)^2 = 2,912 \text{ кН/м;}$$

9.5.6. Расчет изгибающих моментов

Момент от воздействия грунта ($2\alpha = 30^\circ$):

$$M_{\text{г}} = 0,252Q_{\text{гр}}^{\text{с}} r_{\text{ср}} = 0,252 \cdot 24,4 \cdot 0,312 = 1918 \text{ кНм.}$$

Момент от воздействия массы трубы и воды:

$$M = 0,199(Q_{\text{т}} \cdot Q_{\text{в}}) \cdot r_{\text{ср}} = 0,199 \cdot (1,552 \cdot 2,912) = 0,27 \text{ кНм.}$$

9.5.7 Расчет суммарного момента

$$M_0 = 1,91 + 0,27 = 2,18 \text{ кНм;}$$

$$Q_{\text{экв}} = \frac{M_0}{0,312 r_{\text{ср}}} = \frac{2,18}{0,318 \cdot 0,312} = 21,97 \text{ кН.}$$

9.5.8 Определение предельной раздавливающей нагрузки на трубу, уложенную в грунт:

$$Q^0 = \frac{mR_p h^2}{0,95 D_{\text{н}} \xi} = \frac{300 \cdot 9,9^2}{0,95 \cdot 1,0 \cdot 0,630} = 46,30 \text{ кН/м. Для труб класса К-9 } Q^0 = 47,0 \text{ кН/м.}$$

Несущая способность трубы класса К-9 на внешнюю нагрузку достаточна для обеспечения надёжной работы трубопровода.

9.5.9 Расчёт прочности трубы, уложенной на грунтовое основание с выкружкой $2\alpha=120^\circ$ показал, что в этом случае несущая способность на внешнюю нагрузку трубы класса К-9 удовлетворяет условиям расчёта на прочность.

9.5.10 Критическое внешнее равномерное давление на трубу класса К-9 определяется следующим образом:

$$\text{из условия } P_{\text{г}} \leq \frac{P_{\text{л}}}{4} \text{ получают } P_2 = 0,125 \text{ МПа, тогда } q_{\text{гр}} P_{\text{л}} = 1,35 \text{ МПа}$$

$$q_{\text{экв}} = \frac{Q}{D_{\text{н}}} = \frac{21,97}{63,5} = 0,345 \text{ МПа; } K_0 = \frac{1,35}{0,345} = 3,91 - \text{ условиям устойчивости труба}$$

удовлетворяет.

9.5.11 Определяют значение жесткости при внешнем нагружении для трубы класса К-9:

$$f_1 = \frac{Q}{4P_{\text{л}}},$$

где $f_1 = \frac{21,97}{4 \cdot 1,35} = 4,08$ мм. – прогиб кольца трубы.

$$f_0 = 4,8 \leq 0,03 \cdot 63,5 = 19,5 \text{ мм.}$$

Коэффициент запаса $K_0 = 19,5/4,06 = 4,8$,

$P_{\text{л}}$ - жесткость по М.Леви = 1.35 МПа,

Допустимый прогиб f_0 при 3% от 63,5 см составит: $f_0 = 0,03 \cdot 63,5 = 19,5$ мм.

Условиям жесткости труба класса К-9 удовлетворяет.

9.5.12 Расчёт трубопровода на комбинированную нагрузку.

Определяют значение допустимого внутреннего давления для засыпанного трубопровода

$$P_{\text{доп}} = P^0 \left(1 - \frac{Q_{\text{пр}}}{Q^z} \right) = 10,0 \left(1 - \frac{21,97}{47,0} \right) = 5,1 \text{ МПа};$$

$Q_{\text{пр}} = 21,97$ кН/м, приведенная внешняя нагрузка на 1 м;

$$\text{тогда } K_0 = \frac{5,1}{1,6} = 3,10,$$

где 1,6 МПа – рабочее давление.

Расчёты показывают, что прокладка напорного трубопровода из труб ВЧШГ класса К-9 диаметром 63,5 см на рабочее давление 1,6 МПа удовлетворяет всем прочностным требованиям.

9.5.13 Значение давления на основание трубопровода рассчитывают по формуле

$$q = \frac{R}{D_{\text{н}} \cdot \sin \alpha \cdot 0,23 \cdot 63,5} = 1,97 \text{ МПа};$$

$$R = \sum Q = 24,4 + 1,55 + 2,917 = 28,86 \text{ кН/м},$$

Где R – сумма равнодействующих от всех видов внешних нагрузок, действующих на трубу. кН/м.

9.5.14 Расчёты показывают, что прочность грунта основания должна быть не менее 2,0 МПа, что по классификации таблицы Б.1 ГОСТ 25 000 относится к категории низкой прочности. При укладке труб на грунты очень низкой прочности < 1 МПа, необходимо усилить основание по пункту 11.30.

9.5.15 При параллельной прокладке нескольких линий водоводов (заново или дополнительно к существующим) расстояние в плане между наружными поверхностями труб следует устанавливать с учетом проекта производства и организации работ и необходимости защиты от повреждений смежных водоводов при аварии на одном из них, см. таблицу 26 СП 31.13330 для стальных труб.

9.5.16 Учитывая высокую надежность и прочность труб из ВЧШГ, расстояние

между трубами диаметром до 1000 мм и выше следует устанавливать как для стальных труб в зависимости от их диаметра для всех видов грунтов. Для давлений более или равных 1 МПа в соответствии с 11.49 СП 31.13330 при прокладке трубопроводов на застроенных территориях и промышленных предприятиях и применении труб, исключающих возможность повреждения соседних водоводов при аварии на одном из них, разрешается уменьшать расстояние между трубами. Этим требованиям отвечают трубы из ВЧШГ, поэтому расстояние между трубопроводами следует устанавливать не менее 40 см (в свету) для труб диаметрами до 400 мм и 60 см - для труб диаметрами до 1000 мм и выше.

9.5.17 Соединительные фасонные части (приведены в [21]) для трубопроводов, прокладываемых на всех видах грунтов в т.ч. и слабых грунтах должны быть аналогичны приведенным в приложении Б.

9.5.18 При прокладке трубопроводов на слабых грунтах возможно применение труб с соединением «ТАУТОН» только при устройстве упоров, препятствующих расстыковке трубопровода. При невозможности устройства упоров, следует применять только трубы с соединениями типов «RJ» и «RJS» или их сочетание, (см. раздел 11).

10 Проектирование трубопроводов из ВЧШГ на просадочных грунтах

10.1 Основные положения расчета на прочность и деформативность труб на просадочных грунтах

10.1.1 При применении трубопроводов из труб ВЧШГ на просадочных грунтах необходимо соблюдать следующие условия:

- применение шарнирных замковых усиленных соединений типов «RJ» и «RJS» диаметрами 80 -1000 мм различных классов прочности;
- достаточная площадь опирания, при деформируемом основании;
- устойчивость элементов конструкций при деформациях основания;
- совместность деформаций грунта и трубопроводов.

Расчет проводят в соответствии с 6.41, 6.4.3 и 6.4.13 СП 21.13330.

10.1.2 Расчетная схема трубопроводов следующая:

- расчет на прочность с определением возможного прогиба секции трубопровода;
- расчет на прочность и деформативность стыка трубопровода при допустимой

осадке грунта;

- расчет на одновременное деформирование грунта основания и трубопровода;
- расчет на прочность и деформативность единичных труб на поперечный изгиб трубы при расчетном прогибе.

10.1.3 Основным расчетным положением при проектировании трубопроводов из ВЧШГ является совместность деформации осадки грунта основания и трубопроводов, расчет на прочность трубопроводов при допустимых просадках грунта 20 см и более.

10.1.4 Раструбные замковые соединения труб из ВЧШГ типа «RJ» и «RJS» являются шарнирными и обеспечивают возможность изгибаться трубам как в вертикальном, так и горизонтальном и в продольном направлениях, имеют три степени свободы.

Раструбное соединение «TAYTON» не является замковым. Поэтому возможно раскрытие соединения при просадках грунта. Такие подвижки стыков возможны при укладке труб в грунтах с просадочностью I и II типов (просадкой до 20 см). Поэтому трубы из ВЧШГ с соединениями «TAYTON» следует применять только при устройстве упоров, препятствующих расстыковке трубопровода.

10.1.5 Расчёт трубопроводов с соединениями типов «RJ» и «RJS» должен проводиться на совместное воздействие окружающих растягивающих напряжений и напряжений растяжения в осевом направлении от воздействия гидравлического давления и напряжения от растягивающих напряжений от просадки трубопровода.

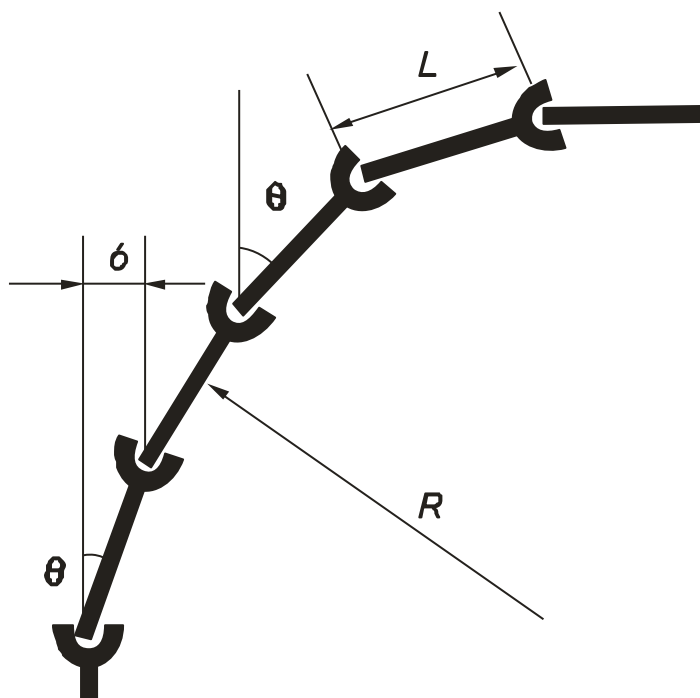
10.1.6 Расчет труб на кольцевые нагрузки от воздействия грунта и внутреннего давления проводят в соответствии с 5.8. Несущую способность трубопровода на осевые нагрузки определяют по таблице 10.4. Напряжение изгиба трубопровода от просадки грунта незначительны и в расчет не принимают.

В таблице 10.1 приведены характеристики шарнирных соединений труб типов «RJ» и «RJS». Соединения типов «RJ» и «RJS» неразъёмные, «TAYTON» – разъёмное.

Таблица 10.1 - Характеристики соединения «TAYTON», «RJ» и «RJS» для изгиба

Условный проход, D_y , мм	Допустимый изгиб при укладке $\Delta\theta$	Длина трубы L , м	Радиус изгиба R_f , м	Смещение Δd , см
80-150	5°	6	69	52
200-300	4°	6	86	42
350-600	3°	6	115	32
700-800	2°	6	200	25
900-1000	1,5°	6	267	19

10.1.7 Повороты большого радиуса следует выполнять с помощью изгиба соединений. В этом случае трубы при соединении должны быть выровнены как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной. Изгиб в стыке выполняют при полностью собранном соединении. Схема геометрии изгиба соединений приведена на рисунке 10.1.



L – длина трубы, м, R_f – радиус изгиба, $\Delta\theta$ – изгиб соединения (в градусах), θ – угол изменения направления поворота трубопровода, (в градусах);

Рисунок 10.1 - Схема изгиба трубопровода с раструбными соединениями

радиус изгиба $R_f = \frac{L}{2 \sin \frac{\Delta\theta}{2}}$.

Длину участка изменения направления трубопровода определяют по формуле

$$C = N \cdot L, \quad (10.1)$$

где N - число труб, необходимое для изменения направления, $N = \frac{\theta}{\Delta\theta}$.

При указанных изгибах изгибающие напряжения в раструбах отсутствуют.

10.2 Расчёт труб и соединений типа «RJS» на прочность

Продолжение ИЗМЕНЕНИЯ № 1 к СП 66.13330.2011

10.2.1 Расчёт труб и соединений «RJS» на прочность проводится как для провисающей упругой нити на податливом основании с заземленными двумя концами, которые находятся на одной высоте

10.2.2 Прогиб f в середине параболы и натяжении нити F_c определяют по формуле

$$f = \frac{ql^2}{8H} . \quad (10.2)$$

Натяжение нити определяют по формуле

$$F_c = \frac{ql^2}{8f} , \quad (10.3)$$

где q – интенсивность нагрузки, кН/м,

l – длина нити трубопровода, м,

f – прогиб нити трубопровода, см (10.2).

Пользуясь формулами при заданных значениях f можно определять значение натяжения нити, т.е. трубопровода, при допустимых значениях f , равных 20 см, приведенное в пункте 16.108 СП 31.13330.

10.2.3 Принимая, что на участке ось трубопровода приняла форму параболы (или окружности), с учётом формулы (10.2) можно определить радиус кривизны допуская, что $l \gg f$

$$R_f = \frac{l^2 + 4f^2}{8f} + \frac{1}{2} \left(\frac{l^2}{4f} + f \right) \approx \frac{l^2}{8f} , \quad (10.4)$$

где l – длина уложенного трубопровода, м,

R_f – радиус изгиба трубопровода от провисания, м.

10.2.4 При известном значении R_f можно вычислить возможную стрелу прогиба f трубопровода при просадочном грунте по формуле

$$f = \frac{l^2}{8R_f} . \quad (10.5)$$

10.2.5 Суммарное напряжение от воздействий внутреннего давления и горизонтальных сил от провисания оси трубопровода можно вычислить по формуле

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_r^2} - \sigma_k \sigma_r \leq R_p \leq 300 \text{ МПа}, \quad (10.6)$$

где σ_k -напряжение в кольцевом направлении, МПа;
 σ_r - горизонтальное напряжение от воздействия гидравлического давления и силы натяжения от прогиба оси трубопровода,

R_p - расчетное напряжение, равное 300 МПа.

10.2.6 Поверочный расчёт труб диаметрами 80-200 мм на прогиб проводят как на поперечный изгиб с двумя опёртыми концами, прогиб балки в середине пролёта от равномерно-распределённой внешней нагрузки определяют по формуле

$$f = \frac{ql^2}{76 EJ}, \quad (10.7)$$

где q – распределенная внешняя нагрузка, кН/м,

l – расчетный пролет трубчатой балки, м,

E – модуль упругости трубы $1,7 \cdot 10^5$ МПа,

$J = r^3 \cdot h$ - момент инерции поперечного сечения трубы, м^4 ,

$\sigma_4 = \frac{M}{W} = \frac{M}{\pi r^2 h}$ - напряжение изгиба трубы при $f=0,2$ м, МПа.

10.2.7 Допустимый прогиб раструба двух смежных соединенных труб определяют по таблице 10.1 и рисунку 10.1 как смещение Δd , см. Для всех диаметров труб Δd больше f в середине параболы или окружности поверхности

10.3 Несущая способность трубы в продольном направлении

10.3.1 Замковое соединение типа «RJS» позволяет воспринимать гидравлическое внутреннее давление без расстыковки соединения.

Конструкция соединения приведена на рисунке 10.2.

1- муфта раструба. 2 - конец трубы, 3 -кольцеобразный упор, 4-уплотняющая манжета, 5 – стопорный элемент, 6 – фиксирующая лента, 7 –кольцевой паз, 8, 9 – окна на торце муфты

Рисунок 10.2 - Замковые соединения типа «RJS»

Труба из высокопрочного чугуна, изготовленная методом центробежного литья, имеет гладкий конец 2, где на некотором расстоянии от его края наплавляется кольцеобразный упор 3. Муфта раструба 1 имеет кольцевой дугообразный паз 7 и два окна 8 и 9 на торце муфты. В муфту раструба устанавливают уплотняющую манжету 4, гладкий конец трубы 2 вдвигается в муфту раструба 1. Через окно муфты раструба 8 вставляют стопорные элементы 5 и по кольцевому пазу 7 распределяют вправо и влево по всей окружности гладкого конца трубы 2. После установки всех стопорных элементов 5, предусмотренных конструкцией соединения, их поворачивают в одну сторону до тех пор, пока два последних стопорных элемента будут видны из окна 8 наполовину.

Для облегчения передвижения стопорных элементов по окружности трубы, предусмотрено окно 9. Стопорные элементы 5 стягивают фиксирующей гибкой лентой 6.

10.3.2 Конструкция стопорных элементов для труб диаметрами 700 мм приведена на рисунке 10.3, а их размеры и число – в таблице 10.2. Конструкции таких элементов для других диаметров труб аналогичны.

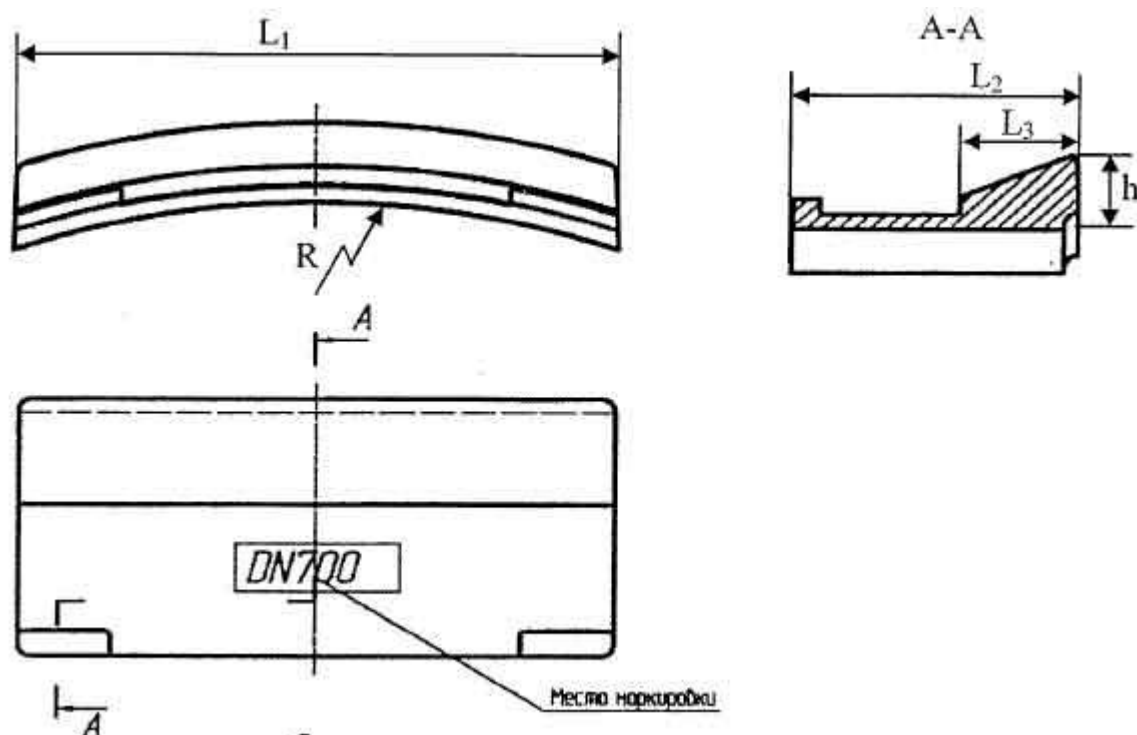


Рисунок 10.3 - Стопорные элементы под соединение типа «RJS»

Т а б л и ц а 10.2 – Основные размеры и масса стопорного элемента

Размеры в миллиметрах

Условный проход D_y , мм	L_1	L_2	L_3	R	h	Число стопорных элементов, шт	Масса стопорного элемента, кг	
							одного	на соединение
600	193,6	105	43	317,5	25±1	10	1,8	18,0
700	222,0	103	43	369,0	28,9±1	10	2,0	20,0
800	256,7	107	44	421,0	30,5±1	10	2,1	21,0
900	222,21	108	45	472,5	29,2±1	13	2,2	28,6
1000	230,0	108	45	524,0	29,3±1	14	2,6	36,4

10.3.3 При укладке труб немерной длины, после их укорачивания, необходимо восстановить на гладком конце упорный валик методом наплавки электродуговой сваркой железоникелевым электродом. Форма валика и его основные размеры указаны на рисунке 10.4 и таблице 10.3.

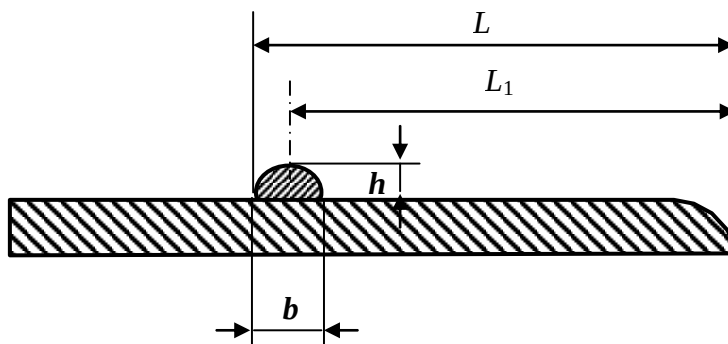


Рисунок 10.4 – Гладкий конец трубы с наплавленным валиком

Таблица 10.3 – Основные размеры валика

В миллиметрах

Условный проход, D_y , мм	L , min - max	L_1 ,	b , min - max	h , min - max
-----------------------------------	--------------------	---------	--------------------	--------------------

80	82-90	82	6-10	4-5,5
100	87-95	87	6-10	4-5,5
125	92-100	92	6-10	4-5,5
150	97-105	97	6-10	4-5,5
200	102-110	101,5	7-11	4,5-6
250	102-110	101,5	7-11	4,5-6
300	102-110	101,5	7-11	4,5-6
350	105-115	104,5	8-12	5-6,5
400	110-120	109,5	8-12	5-6,5
500	115-125	114,5	8-12	5-6,5
600	115-125	114,5	9-13	6-7,5
700	145-155	144,5	9-13	6-7,5
800	155-165	154,5	9-13	6-7,5
900	170-180	169,3	9,5-13,5	6,5-8
1000	180-190	179,3	9,5-13,5	6,5-8
Пр и м е ч а н и е – L_1 – справочный размер.				

Приварку упорного валика осуществляют с помощью стяжных съёмных колец, конструкция позволяет точно фиксировать положение валика.

10.3.4 Несущую способность соединений типов «RJ» и «RJS» в продольном направлении определяют максимальной нагрузкой, которая создаётся внутренним давлением воды при котором сохраняется целостность раструба трубы.

10.3.5 Основным критерием оценки надёжности соединений типов «RJ» и «RJS» принята прочность раструба с введением расчётных коэффициентов, обеспечивающих допускаемые нагрузки, а также результаты испытаний. Значения несущей способности соединений приведены в таблице 10.4, где максимально допустимые усилия от воздействия внутреннего давления (несущая способность соединения в продольном направлении) и допустимый радиус закругления трубопроводов приняты в качестве основных расчётных характеристик для укладки трубопроводов на просадочных грунтах.

Т а б л и ц а 10.4 – Несущая способность труб в продольном направлении

Условный проход,	Тип соединения	Допустимый угол отклонения	Допустимое тяговое усилие,	Максимально допустимый
---------------------	-------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------

Продолжение ИЗМЕНЕНИЯ № 1 к СП 66.13330.2011

D_y , мм		трубы в соединении	K_H	радиус закругления трубопровода, м
80	RJ	5°	70	69
100	RJ	5°	87	69
125	RJ	5°	100	69
150	RJ	5°	136	69
200	RJ	4°	201	86
250	RJ	4°	270	86
300	RJ	4°	340	86
350	RJ	3°	430	115
400	RJ	3°	510	115
500	RJ	3°	670	115
600	RJS	2°	1200	172
700	RJS	1,5°	1400	230
800	RJS	1,5°	1460	230
900	RJS	1,5°	1530	230
1000	RJS	1,5°	1650	230
Пр и м е ч а н и е 1 Допустимые углы отклонения трубы в соединениях определены и подтверждены типовыми испытаниями по ГОСТ Р ИСО 2531, при сохранении целостности раструба и герметичности соединения в целом. 2 Максимальные тяговые усилия приведены с коэффициентом запаса прочности 1,5. 3 Таблицу 10.4 используют для расчетов ГНБ взамен таблиц 7.5 и 8.1				

10.3.6 Пример расчета

В соответствии с Д.13 приложения Д СП 21.13330 проектирование трубопроводов следует проводить с соблюдением основных требований СП 31.13330 и настоящего свода правил.

Исходные данные для расчета: трубопровод диаметром 635 мм, из трубы класса К-9, укладывают на просадочный грунт типа II с возможной просадкой грунта 0,2 м. Длина площадки – 60 м, рабочее давление – 1,6 МПа, испытательное давление – 2,5 МПа. Трубопровод зашплицен с двух концов.

Суммарная удельная внешняя равнодействующая нагрузка:

$$q = Q_{гр} + Q_{тр} + Q_{в} + Q_{нтр} = 24,4 + 1,55 + 2,91 + 1,49 = 30,35 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Значение натяжения трубопровода при осадке основания (прогибе) 0,2 м:

$$F_c = \frac{ql^2}{8f} = \frac{30,35 \cdot 3600}{8 \cdot 0,2} = 68,28 \text{ кН}.$$

В таблице 10.4 максимальное осевое усилие прочности соединения «RJS» равно 860 кН. Натяжение F_c составляет $\frac{68,28}{860} = 0,07$ или 7 %.

Напряжение в стенке трубы в продольном направлении от воздействия силы N

$$\sigma_{\tau} = \frac{N}{F} = \frac{P\pi D_{\varepsilon}^2}{4\pi D_{\varepsilon} h} = \frac{PD_{\varepsilon}}{4h},$$

где при $P=1,6$ МПа $\sigma_{\tau}=25,4$ МПа;

при $P=2,5$ МПа $\sigma_{\tau} 39,2$ МПа.

Кольцевые напряжения от воздействия внутреннего давления:

$$\sigma_o = \frac{PD}{2h} = \frac{61,52}{2 \cdot 0,99},$$

где $\sigma_o = 49,7$ МПа при $P=1,6$ МПа;

$\sigma_o = 77,6$ МПа при $P=2,5$ МПа.

Напряжение в продольном направлении трубы от силы F_c :

I Вариант без воздействия внешних нагрузок

$$\sigma_{\tau} = \frac{F_c}{F} = \frac{68,23}{189,4} = 3,6 \text{ МПа}.$$

Суммарные напряжения в продольном направлении:

$$\sigma_{\tau} = \sigma_1 \xi_{\tau}^1 + \sigma^0 = 25,4 + 3,6 = 29 \text{ МПа при } 1,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\tau} = \sigma_1 + \sigma^0 = 39,7 + 3,6 = 43,3 \text{ МПа при } 2,5 \text{ МПа}.$$

Напряжения от одновременного воздействия гидравлического давления и силы F_c :

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_r^2 - \sigma_k \cdot \delta_r} \leq 300 \text{ МПа},$$

$$\text{при } P=1,6 \text{ МПа} \quad \sigma_p = \sqrt{49,7^2 + 25,4^2 + 49,7 \cdot 25,4} = 43,13 \text{ МПа};$$

$$\text{при } P=2,5 \text{ МПа} \quad \sigma_p = \sqrt{77,6^2 + 39,7^2 + 77,7 \cdot 39,7} = 66,2 \text{ МПа}.$$

Коэффициенты запаса прочности:

$$\text{При } P=1,6 \text{ МПа } K_{\sigma}^{\tau} = \frac{300}{43,12} = 6,95;$$

$$\text{При } P=2,5 \text{ МПа } K_{\sigma}^{\tau} = 4,53.$$

Условиям прочности труба диаметром 635 мм класса К-9 удовлетворяет.

10.3.7 При необходимости вычисления прочности трубопровода при $f > 0,2$ м, следует пользоваться изложенной выше методикой.

10.3.8 Прочностной расчёт трубы класса К-9 диаметром 200 мм, опёртой по концам, на поперечный изгиб распределённой нагрузкой от воздействия грунта засыпки и транспорта Н-18 на прогиб, проводят по формуле (10.7)

$$f = \frac{ql^2}{76 EJ} = \frac{9,41 \cdot 6^2}{76 \cdot 1,7 \cdot 10^5 \cdot 2492,6} = 10,5 \text{ см}, \quad (10.7)$$

где $q = 8,43_{\text{гр}} + 0,51_{\text{т}} + 0,77_{\text{тр}} = 9,41$ кН/м.

$J=2492,6$ см – момент инерции, см^4 .

Условиям жёсткости труба класса К-9 диаметром 200мм удовлетворяет: $f = 10,5$ см $< 20,0$ см.

Расчёты показывают, что надёжность трубопровода из труб ВЧШГ с соединениями типов «RJ» и «RJS», уложенных в насыпь или траншею на плоское основание из просадочных грунтов обеспечена. Аналогичные расчёты справедливы так же для всего параметрического ряда диаметров 80-1000 мм труб ВЧШГ при длине труб 6 м.

10.3.9 Суммарное напряжение с учетом нагрузки от грунта и транспорта

Кольцевое напряжение в трубе от воздействия внешних нагрузок вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \frac{Q D_{\text{ср}}}{0,524 b h^2}, \quad (10.8)$$

где $D_{\text{ср}}$ - срединный диаметр, 62,5 см;

Q – приведенная нагрузка от воздействия внешних нагрузок, равная 33,8 кН/м;

b - длина трубы, равная 100 см;

h - толщина стенки трубы, мм.

И оно составляет

$$\sigma_p = \frac{33,8 \cdot 62,5}{0,524 \cdot 100 \cdot 0,98} = 41,17 \text{ МПа.}$$

10.3.10 Значение окружных напряжений от суммарного воздействия гидравлического давления и внешних нагрузок составляет:

$$\text{При } P = 1,6 \text{ МПа} = 25,4 + 41,17 = 66,57 \text{ МПа};$$

$$\text{При } P = 2,5 \text{ МПа} = 39,7 + 41,17 = 80,87 \text{ МПа}.$$

10.3.11 Напряжения в стенках трубы от суммарного воздействия всех сил составляет:

$$\sigma_0^1 = \sqrt{66,57^2 - 66,57 \cdot 29,0 + 29^2} = 57,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_0^1 = \sqrt{80,87^2 - 80,87 \cdot 43,3 + 43,3^2} = 76,79 \text{ МПа}.$$

10.3.12 Прочность трубы класса К-9 удовлетворяет условиям укладки. Коэффициенты запаса прочности составляют соответственно:

$$K_0 = \frac{300}{57,0} = 5,19 \text{ и } \frac{300}{76,7} = 3,91.$$

где $R_p = 300 \text{ МПа}$ - расчетное напряжение на растяжение.

10.3.13 При прокладке трубопроводов на просадочных грунтах необходимо применять трубы из ВЧШГ с раструбными замковыми соединениями типов «RJ» и «RJS». В соответствии с 16.108 СП 31.13330 при просадке грунта до 20 см можно применять трубы с соединениями «ТАУТОН», но только с устройством упоров.

10.3.14 Соединительные фасонные части труб при прокладке трубопроводов на просадочных грунтах следует принимать в соответствии с 9.5.17 для всех классов труб диаметрами 80-1000 мм.

10.3.15 Бестраншейная прокладка трубопровода осуществляется с применением труб из ВЧШГ только с соединениями типов «RJ» и «RJS» в соответствии с разделами 7 и 8 и таблицы 10.4.

10.3.16 Длину протягиваемых плетей L_n определяют по формуле

$$L_n = \frac{N_s^0}{Q_{тр} \cdot \mu}, \quad (10.9)$$

где N_s^0 – допустимое тяговое усилие, кН,

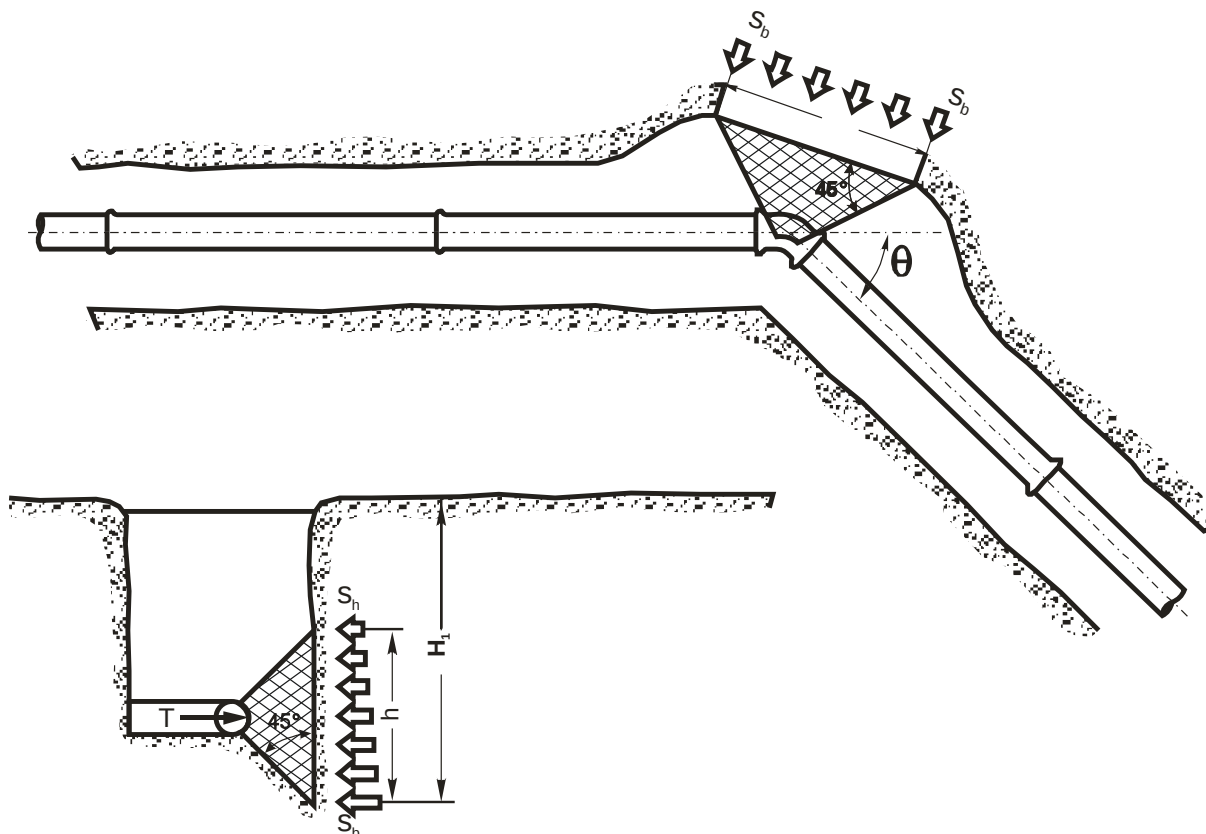
$Q_{тр}$ – масса погонного метра трубы, кН,

μ – коэффициент трения трубы о грунт, безразмерная величина, определяется в соответствии с 8.5.

11 Упорные блоки и зажимные приспособления для противодействия силам от осевого гидравлического давления

11.1 Уравновешивание сил противодействия в подземных трубопроводах достигают с помощью упорных или гравитационных блоков, замковых соединений, винтовых анкерных упоров или сочетания этих методов. Расчёт сил осевого гидравлического давления приведен в разделе 6.4.

11.2 Одним из наиболее применяемых методов уравновешивания сил противодействия являются упорные блоки. На рисунке 11.1 приведен типовой упорный блок при горизонтальном изгибе. Конструирование упорных блоков осуществляют при соблюдении следующих критериев:



h – высота упорного блока, S_b – величина силы отпора грунта внизу подошвы блока МПа, S_h – величина силы отпора грунта на высоте h блока, МПа, b – ширина упорного блока, T – сила осевого давления воды, МПа, θ - угол изменения направления поворота трубопровода, (в градусах)

Рисунок 11.1 – Опорный горизонтальный блок

11.3 Несущая поверхность упорного блока должна быть размещена на ненарушенном грунте. Если это невозможно, то насыпной грунт между несущей поверхностью упорного блока и ненарушенным грунтом должен быть уплотнен;

- высота упорного блока h должна быть равна 0,5 (или менее) общей глубины заложения трубы до нижней части блока, но не меньше диаметра трубы;
- высота упорного блока должна быть выбрана так, чтобы расчетная ширина блока b изменялась в пределах размеров ширины или двух высот блока;

- толщину блока и его объем выбирают в зависимости от прочности бетона в соответствии с требованиями СП 63.13330.

11.4 Значение осевого давления при разных углах поворота трубопровода, прочности ненарушенного грунта и площади упора блока можно определить, для практических расчетов, по номограммам, приведенным на рисунке 5.10 настоящего свода правил.

11.5 Осевое гидравлическое давление

Силы осевого гидравлического давления возникают в напорных магистралях во всех местах изменения направления (повороты, тройники), во всех местах изменения диаметра (переходы), на каждом конце (глухие фланцы), на рисунке 11.2 приведены схемы некоторых конструкций соединительных частей.

Значение этих сил является достаточно высоким и они должны быть скомпенсированы усиленными (неразъёмными) соединениями или укрепительными блоками (упорами).

Силы рассчитывают по общей формуле

$$F = K \ P \ S,$$

где F – сила осевого давления кН;

P - внутреннее давление (испытательное давление трубопровода), МПа;

S – поперечное сечение (внутреннее для фланцевых соединений, внешнее для любых других типов), см²;

K - коэффициент, который зависит от формы и размеров рассматриваемых компонентов трубопровода.

Глухие фланцы, тройники: $K=1$, рисунок 11.2 б, г.

Переходы на меньший диаметр: $K=1-S'/S$ (S' - меньшее сечение), рисунок 11.2 в.

Повороты с углом θ : $K=2 \sin (\theta/2)$, рисунок 11.2 а.

$K=1,414$ для поворотов 90°;

$K=0,765$ для поворотов 45°;

$K=0,390$ для поворотов 22,5°;

$K=0,196$ для поворотов 11,25°.

11.6 Компенсацию силы гидравлического давления осуществляют за счёт укрепительных блоков или применения метода крепления соединений, за счёт защемления трубы в грунте. Это может быть обусловлено затруднёнными условиями строительства или низкой прочностью грунта.

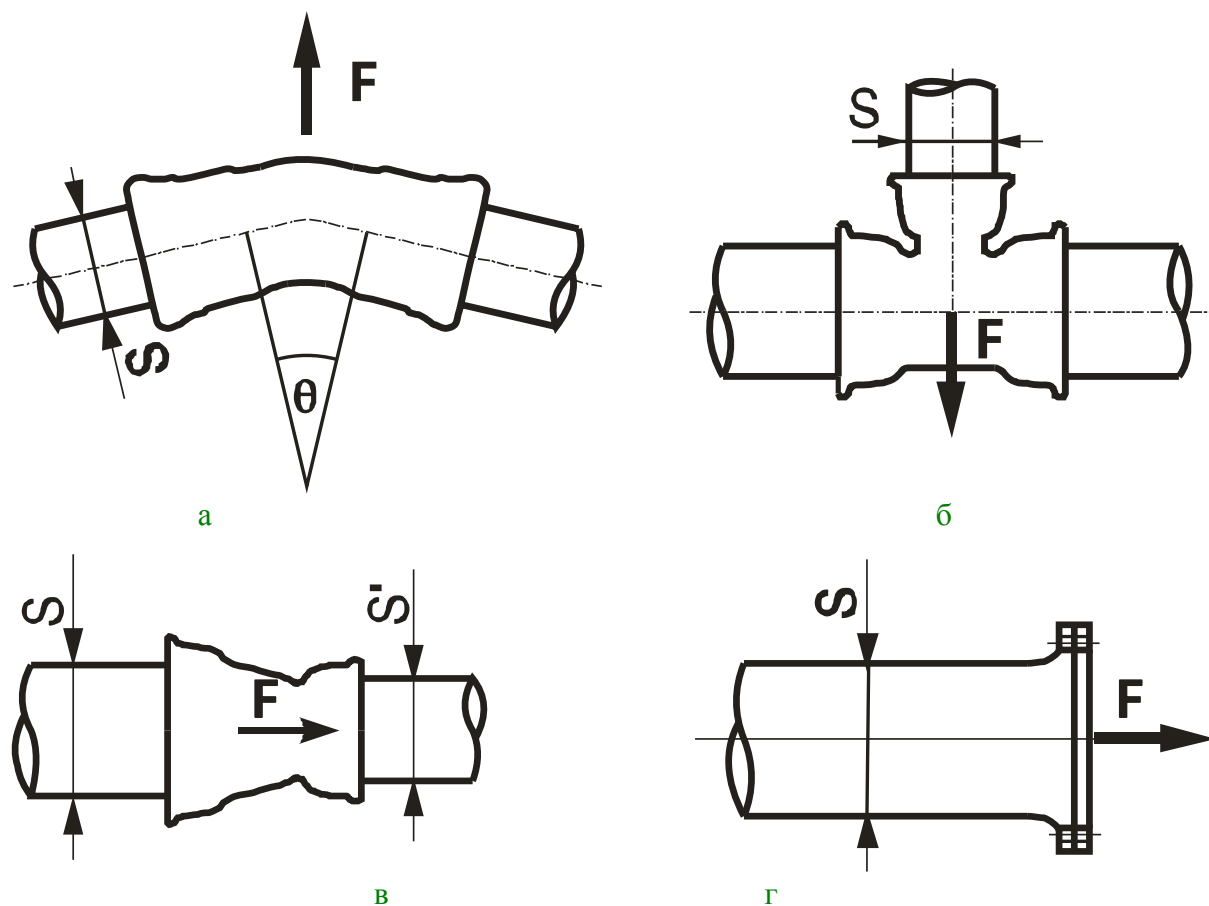


Рисунок 11.2 – Примеры схем конструкций соединений труб

11.7 Гравитационные блоки и зажимы следует применять для сопротивления противодействию продольных сил от гидравлического давления на вертикальных изгибах трубопроводов, направленных вниз.

11.7.1 Масса гравитационного блока является силой, обеспечивающей равновесие с силой противодействия, при конструировании блока необходимо рассчитать необходимый объём данного блока. Расчётные силы и схемы блока представлены на рисунке 11.3.

Расчетную силу F определяют по формуле

$$F = PS \sin \theta . \quad (11.1)$$

Тогда масса блока:
$$V_{\delta} = \frac{S_{\text{т}} P S \sin \theta}{\gamma_{\delta}} , \quad (11.2)$$

где P – давление воды в трубопроводе, МПа;

S – площадь поперечного сечения трубы, см²;

θ - угол изгиба трубы, градус;

γ_{δ} - плотность материала блока;

S_f – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5.

Условие равновесия сил $F \leq V_\delta$.

11.8 Анкерное крепление трубопроводов

11.8.1 Анкерное крепление – альтернативное решение замены гравитационных блоков для обеспечения устойчивости трубопроводов, особенно диаметрами 500-1000 мм и более, прокладываемых в слабых, заболоченных и обводненных местах, с помощью анкерных креплений, ввинчиваемых в грунт.

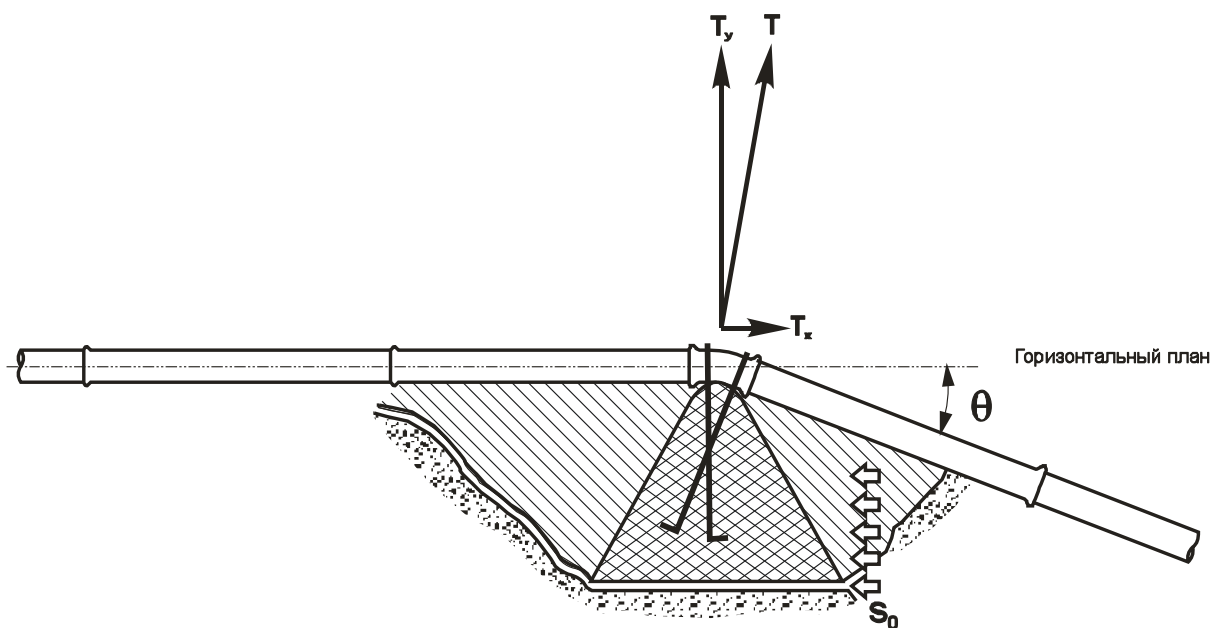


Рисунок 11.3 – Гравитационный блок для вертикальных изгибов

11.8.2 Вариант анкерного устройства приведен на рисунке 11.4.

Анкерное устройство состоит из двух металлических винтовых анкеров 1 силового пояса 2, футеровочного мата 3, прокладки из трех слоев бривола 4, накладываемых на трубу 5. Анкер 1 представляет собой конструкцию, способную погружаться, если приложить к ней крутящий момент. Анкер состоит из сердечника а, наконечника б, винтовой лопасти в, оголовка г и стержня д. Оптимальные размеры анкера следующие: сердечник диаметром 90 мм, наконечник конической формы $h = 2d$, винтовая лопасть диаметром 300 мм, толщина лопасти 10 мм, шаг $t = 90$ мм, диаметр стального прутка 20 мм.

11.8.3 Несущую способность анкерных устройств, указанных выше размеров, определяют свойствами грунтов, в которые они ввинчиваются. В зависимости от грунтов расчетная нагрузка на анкерные устройства составляет:

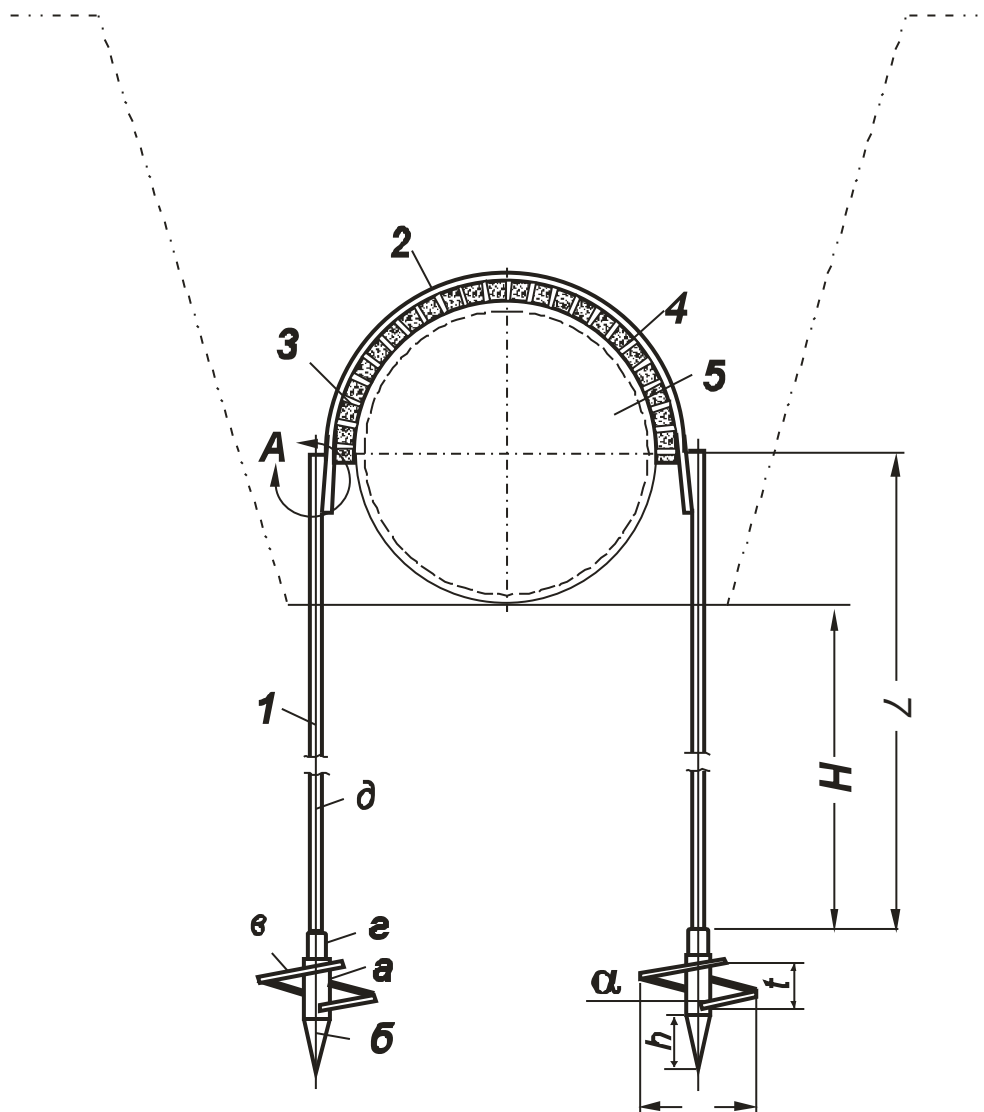
900 кН - в крупнозернистых и среднезернистых устойчивых влажных грунтах;

6000 кН - в твердых глинах, тяжелых суглинках, плотных супесях и мелкозернистых устойчивых влажных песках ;

3000 кН - в мягкопластичных глинах, илистых суглинках, супесях.

11.8.4 При недостаточной изученности грунтов на трассе трубопроводов проводят опытное ввинчивание анкеров на глубину $H = 2,5$ м и выдергивание, чем определяют несущую способность конструкции.

Расчетную максимальную нагрузку на один анкер, при которой он начинает вытягиваться из грунта, выбирают на анкерной нагрузке, включающей два анкера. При этом значение расчетной нагрузки должно быть не выше 900 кН на анкерное устройство.



1 – металлические винтовые анкеры, 2 – силовой пояс, 3 – футеровочный мат, 4 – прокладки, 5 – труба, а – сердечник, б – наконечник, в – винтовая лопасть, г – оголовок, д – стержень

Рисунок 11.4 – Конструкция анкерного крепления трубопровода

11.8.5 Винтовые анкерные упоры следует также устанавливать при прокладке трубопровода из ВЧШГ в горных условиях, когда условие применения гравитационных блоков затруднено и малоэффективно.

Расстояние между анкерными устройствами (пролет, м) вычисляют по формуле

$$l_{\text{пр}} \leq \frac{0,0127 N_{\text{доп}}}{D_{\text{н}}^2 \left(\gamma_{\text{в}} - 4 \frac{h}{D_{\text{н}}} \gamma \right)}, \quad (11.3)$$

где $N_{\text{доп}}$ – допускаемая расчетная нагрузка на анкерное устройство, кН;

$D_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб, см;

$\gamma_{\text{в}}$ – объемная масса жидкой среды погружения трубопровода, кН/м³;

h – толщина стенки трубы, см;

γ – объемная масса материала трубы (для ВЧШГ 7,2 кН/м³).

При этом значение $l_{\text{пр}}$, вычисленное по формуле (11.3), должно удовлетворять условиям:

$$l_{\text{пр}} \leq 0,02 \cdot \sqrt[4]{\frac{12 E h D_{\text{н}} f_{\text{доп}}}{\gamma_{\text{в}} - 4 \frac{h}{D_{\text{н}}} \gamma}};$$

$$l_{\text{пр}} \leq 0,02 \cdot \sqrt{\frac{3 k_2 R_2^{\text{н}}}{\gamma_{\text{в}} - 4 \frac{h}{D_{\text{н}}} \gamma}},$$

где E – модуль упругости материала трубы кГ/см² (для ВЧШГ), равный $1,7 \cdot 10^5$ МПа;

$f_{\text{доп}}$ – допускаемый прогиб (подъем) трубопровода в середине пролета между двумя соседними анкерными устройствами, см;

$R_2^{\text{н}}$ – нормативное сопротивление растяжению, сжатию и изгибу материала анкера, определяемое из условия достижения предела текучести ($R_2^{\text{н}} = \sigma_0$), МПа;

$R_{\text{р}}$ – расчетное сопротивление на растяжение, для ВЧШГ – 300 МПа.

11.8.6 При прокладывании напорного трубопровода, особенно в слабых и просадочных грунтах, роль упорных блоков выполняют трубы с замковым соединением типа «RJ» или «RJS», которое заземляют в грунте.

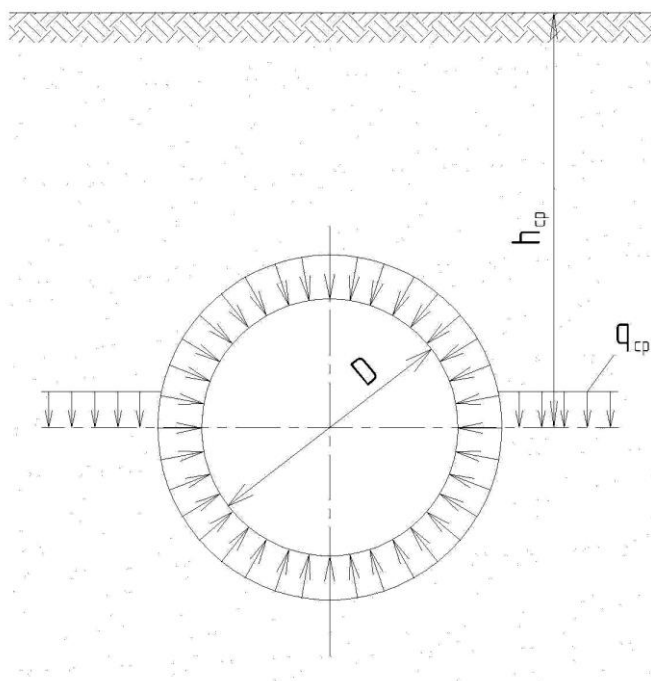
Этот метод состоит в фиксации (закреплении) необходимого числа соединяемых труб с каждой стороны трубопровода для использования силы заземления трубы в грунте в качестве компенсации осевого гидравлического давления.

11.8.7 Длина участка, подлежащего укреплению, зависит от:

- качества укладки труб;
- качества и степени утрамбовки засыпаемого материала;
- физических характеристиках засыпаемого грунта;
- применения пленочного рукава, надеваемого на трубопровод.

11.8.8 При применении пленочного рукава сцепление трубы с грунтом составляет 0,7 сцепления трубы без рукава, т. е. $Q_0' = 0,7Q_0$, где Q_0 - сила сцепления трубы с грунтом.

11.9 Расчётная схема для расчета системы «труба + внешние нагрузки» от воздействия грунта, массы трубы и воды приведена на рунке.11.5



q_{cp} – среднее давление грунта, D – диаметр трубы, h_{cp} – высота засыпки

Рисунок 11.5 – Среднее давление грунта на подземный трубопровод

Для расчёта принимают среднее давление грунта по горизонтальной плоскости, проходящей через центр трубопровода.

11.9.1 Среднее давление грунта засыпки определяют по формуле

$$\sigma_{cp} = q_{cp} = \gamma_{cp} \cdot h_{cp}, \quad (11.4)$$

где γ_{cp} -объёмная масса грунта засыпки;

q – удельное давление грунта на трубу, МПа;

h_{cp} – высота засыпки, м

11.9.2 Давление q_0 от $Q_{тр.}$ и Q_v определяют по формуле

$$q_0 = \frac{Q_{\text{тр}} + Q_{\text{в}}}{F}, \quad (11.5)$$

где F - площадь опирания трубы на грунт при $\alpha = 180^\circ$.

$Q_{\text{тр}}$ – масса трубы, кН/м;

$Q_{\text{в}}$ – масса воды, кН/м.

11.9.3 Общее давление на грунтовое основание определяется по формуле:

$$\sigma_0 = q_0 = q_{\text{гр}} + q_{\text{тр}} + q_{\text{в}}, \quad (11.6)$$

Где $q_{\text{в}}$ - удельное давление от массы воды.

11.10 Защемление трубы τ в грунте рассматривают только для упругой работы грунта. В этом случае значение защемления рассчитывают по формулам:

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma t g \varphi + C - \text{для концевых сечений упругих участков:}$$

а) для участков, сложенных суглинками:

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma_2 t g \varphi + C; \quad (11.7)$$

б) для участков, сложенных пластичными глинистыми грунтами:

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma_2 t g \varphi + 0,2C; \quad (11.8)$$

в) для участков, сложенных песчаными и супесчаными грунтами:

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma_2 t g \varphi. \quad (11.9)$$

где $\tau_{\text{пр}}$ - напряжение защемления на контакте труба-грунт в продольном направлении, МПа;

φ – угол внутреннего трения, в градусах;

σ_2 – нормальное среднее давление грунта на трубопровод, МПа;

C – сила сцепления грунта, МПа.

11.11 Физико-механические характеристики грунтов: прочность, модули деформативности, удельного сцепления грунтов, углы внутреннего трения φ и другие показатели следует принимать по приложениям Б и В СП 21.13330.

11.12 Расчёт закрепительной длины трубопровода с соединениями «RJ» и «RJS»

11.12.1 Значение длины защемления трубы в грунте вычисляют по формуле

$$Q_0 = \pi D_{\text{н}} \cdot \tau \cdot l, \quad (11.10)$$

где Q_0 - значение защемления трубы, кН/м;

$D_{\text{н}}$ - наружный диаметр см;

τ – касательное напряжение заземления трубы, МПа;

l – расчетная длина трубы, 100 см.

11.12.2 Длину закрепляемой линии заземления определяют по формуле

$$L = \frac{F}{Q_o}, \quad (11.11)$$

где F – сила гидравлического давления, кН.

Q_o - значение заземления, кН/м.

11.12.3 Пример расчета

Трубу класса К-9 наружным диаметром 63,0 см укладывают в траншею глубиной 2 м. Грунт основания категории Г-III, объемная масса - 17,7 кН/м³, γ - 28°, c – 1,19 кПа. Следует определить длину закрепительной линии трубопровода с соединением типа «RJS» при расчетном испытательном давлении и давлении на герметичность.

Для этого определяют внешние нагрузки.

Равнодействующая нагрузка от грунта:

$$Q_{\text{гр}} = n\gamma H D_{\text{н}} H = 1,15 \cdot 17,7 \cdot 2 \cdot 0,63 = 25,64 \text{ кН/м.}$$

Равнодействующая нагрузка от транспорта

$$Q_{\text{тр}} = n\pi\gamma_{\text{тр}} h(D_{\text{н}} - h) = 1,1 \cdot 3,14 \cdot 72,6 \cdot 0,0099 \cdot (0,63 - 0,0099) = 1,54 \text{ кНм.}$$

Равнодействующая нагрузка от воды.

$$Q_{\text{в}} = n \cdot 0,25\pi\gamma D_{\text{в}}^2 l = 1,025 \cdot 3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,612^2 = 2,98 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Определяют $q_{\text{тр}}$, $q_{\text{в}}$ и $q_{\text{гр}}$ при площади опирания трубы длиной 1 м $s = 99,69 \text{ см}^2$:

$$q_{\text{тр}} = \frac{1,54}{99,69} = 0,0157 \text{ МПа};$$

$$q_{\text{в}} = \frac{2,98}{99,69} = 0,0299 \text{ МПа},$$

$$q_{\text{гр}} = \frac{25,64}{99,69} = 25,72 \text{ кг/см}^2 = 2,572 \text{ МПа};$$

$$q_{\text{тр}} + q_{\text{в}} = 0,0157 + 0,0299 = \frac{4,46 \text{ кг}}{\text{см}^2} (0,446 \text{ МПа}).$$

Определяют значение τ при $q_{\text{в}} + q_{\text{тр}}$.

$$\tau = \sigma \cdot \tan 28^\circ + 0,19 \text{ кг/см}^2 = 4,46 \cdot 0,47 + 0,19 \text{ кг/см}^2 = 2,28 \text{ кг/см}^2 (0,228 \text{ МПа}).$$

Определяют $\dot{C}$ при $Q_{\text{гр}} = 25,64 \text{ кН/м.}$

$$q_{\text{гр}} + q_{\text{тр}} + q_{\text{в}} = 30,16 \text{ кг/см}^2 = 3,016 \text{ МПа.}$$

Защемление Q_o при $q_{\text{тр}} + q_{\text{в}}$ равно:

$$Q_o' = Fc = 99,69 \cdot 2,28 = 227,9 \text{ (22,79 МПа):}$$

$$Q_o'' = 99,69 \cdot 30,6 \cdot 0,47 + 0,19 = 1432 \text{ (143,2 МПа).}$$

Определяют силу давления воды в трубопроводе при $P = 1,6 \text{ МПа} \cdot 1,25 = 2,0 \text{ МПа}$:

$$F = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 2,0 \cdot 61,2^2 = 5880,3 \text{ кг (58,8 кН).}$$

Рассчитывают длину заземления линии:

$$L_1 = \frac{58800}{227,9} = 250 \text{ л} = 250 \text{ м (42 трубы длиной 6 м);}$$

$$L_2 = \frac{58800 \text{ кг}}{1432} = 40,5 \text{ л} = 40,5 \text{ м (7 труб длиной 6 м).}$$

Определяют силу давления воды при $P = 2,5 \text{ МПа}$:

$$F = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 61,2^2 = 73500 \text{ кг.}$$

Определяют длину линии заземления:

$$L = \frac{73500}{1432} = 65,8 \text{ м, (10 труб длиной 6м).}$$

Расчеты показывают, что при засыпанном трубопроводе используют трубы ВЧШГ с соединениями типов «RJS», «RJ», «TAYTON» без устройства упоров.

Применение таких труб при незасыпанном трубопроводе при приемочном испытании (2,0 МПа) возможно при использовании пригруза труб или анкеровке их через 5-10 труб (30-60 м).

11.12.4 При применении полиэтиленового рукава следует учитывать, что напряжение заземления трубы в грунте в этом случае примерно на 30 % ниже, чем для обычного битумного покрытия трубы. Перед полной засыпкой пригрузы и анкеры убираются.

11.12.5 Приведенный метод расчета упоров и захватов использует при расчете подтопленных трубопроводов с применением физико-механических показателей увлажненных грунтов.

11.12.6 Раструбные трубы из ВЧШГ с соединениями типов «RJS», «RJ», применяют во всех видах грунтов.

Библиографию дополнить документом [21]:

«[21] ТУ 1468-041 Части соединительные сварные из высокопрочного чугуна для напорных трубопроводов».