

ИЗМЕНЕНИЕ N 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:

ОКС 93 025

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 Расчет 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

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:

В настоящем своде правил применено изобретение, защищенное Патентом Российской Федерации N 24702056 от 10 января 2013 г. на изобретение "Соединение трубопроводов". Патентообладатель - ООО "Липецкая трубная компания "Свободный Сокол".

Введение дополнить новым абзацем:

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 на рабочее давление 1,6 МПа и выше.

СП 66.13330 с Изменением N 1 не распространяется на закарстованные и подрабатываемые территории и сейсмоопасные районы. В Изменении N 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.Алиференков, 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), ОАО "НИИМосстрой" (д-р техн. наук В.Ф.Коровяков)".

Раздел 2 дополнить новыми ссылками: "ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация, СП 21.13330.2012 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

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

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

где σ_v - вертикальная составляющая давления, МПа;

σ_h - горизонтальная составляющая давления, МПа;

ξ_0 - коэффициент бокового давления грунта;

γ - нормативный удельный вес грунта засыпки, кН/м³;

H - высота засыпки трубы, м.

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

Таблица 9.1 - Значение коэффициента λ

Наименование давления	Коэффициент бокового	Способ опирания трубы		
		На плоскости	На плотное	На слабое основание

	давления грунта ξ_0	$2\alpha=0^\circ$	основание $2\alpha=90^\circ$	$2\alpha=90^\circ$
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 $\xi_0 = 0$ принимается $\lambda = 1$ как для условий укладки в насыпи, так и 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 "TYTON" (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 производится из условий насыпи $B \geq D_h$,

где B - ширина траншеи или насыпи, м;

D_h - наружный диаметр трубы, см.

В этом случае горизонтальная составляющая от вертикальной нагрузки отсутствует.

9.1.11 На слабых грунтах ограничено движение колесного и гусеничного транспорта, 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. Расчет нагрузок от транспорта следует проводить по п.5.3.12 СП 66.13330.

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

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

где R - значения опорных реакций всех вертикальных расчетных сил, действующих на трубопровод диаметром D_h , кН,

q - распределенная нагрузка, МПа/м,

D_h - 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 $Q_{\text{тр}}^B$, кН/м, определяется при укладке в насыпи по формуле

$$Q_{\text{тр}}^{\text{B}} = n \gamma H D_{\text{H}} K_{\text{H}} \quad (9.4)$$

где: D_{H} - 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_{H} - коэффициент концентрации давления грунта засыпки. В общем виде K_{H} выражается формулой:

$$K_{\text{H}} = 1 + \frac{H}{D_{\text{H}}} \xi_0 \operatorname{tg} \varphi, \quad (9.5)$$

где D_{H} - наружный диаметр трубы, м;

ξ_0 - коэффициент горизонтального давления грунта (отпора). При $\xi_0 = 0$ коэффициент $K_{\text{H}} = 1$;

$\operatorname{tg} \varphi$ - угол внутреннего трения грунта.

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

$$Q_{\text{тр}}^{\text{B}} = n \gamma H D_{\text{H}}. \quad (9.6)$$

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

$$Q_2 = n \frac{\pi}{4} \gamma_{\text{H}} D_{\text{B}}^2, \quad (9.8)$$

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

D_{B} - внутренний диаметр трубы, см;

γ_{H} - удельная масса транспортируемой воды, для питьевой воды равна 9,8, а для сточной жидкости - 10,4, кН/м³.

Значение коэффициента K_{H} для различных грунтов и способов укладки труб выбирают из таблицы 9.2,

где E_0 - модуль упругости грунта основания, МПа;

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

Таблица 9.2 - Значение коэффициента K_n для различных грунтов и способа укладки трубы

Наименование и характеристика грунта основания	$\frac{E_0}{E_{\text{гр}}}$	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. Глинистые прочные грунты	4,5	1,4	1,43	1,43	1,47
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

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

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

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

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

$$r_{\text{cp}} = 0,5(D_{\text{H}} - h),$$

где D_{H} - наружный диаметр трубы, м,

h - толщина стенки трубы, м

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

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

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

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

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

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:

$$M_\Gamma = 0,252 \cdot Q_e r_{cp}; \quad (9.11)$$

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

$$M_B = 0,199 \cdot Q_B r_{cp};$$

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

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

M_B - момент от воздействия массы воды, кНм.

Моменты от воздействия горизонтальных нагрузок отсутствуют.

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

$$M_0 = M_\Gamma + M_{tp} + M_B. \quad (9.12)$$

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

$$Q_{\text{экв.}} = \frac{M_o}{0,318 \cdot r_{cp}}, \quad (9.13)^*$$

где M_0 - суммарный расчетный изгибающий момент, кНм;

r_{cp} - срединный радиус трубы, см.

* Формула и экспликация к ней соответствуют оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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

раздельные нагрузки Q_0 и P^0 и график несущей способности труб при 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 действии 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 $D_H = 63,5$ см;
- толщина стенки трубы $h=9,9$ мм;
- модуль упругости Юнга $E=1,7 \cdot 10^5$ 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/м³ (мелкие пески, категория грунта Г-II (Таблица 5.5. СП 66.13330.2011)

γ_{tr} - удельная масса трубы $72,6$ кН/м³;

- модуль деформации грунта засыпки $E_{tr} = 1,0$ МПа;
- расчетное внутреннее гидростатическое давление в трубопроводе $P_{раб} = 1,6$ МПа;
- атмосферное давление при образовании в трубопроводе вакуума $P_{вак} = 0,1$ МПа;
- укладка труб в насыпь;
- коэффициент надежности по нагрузке $n=1,15$;

9.5.2 Определяют параметр, характеризующий жесткость трубопровода, (формула 5.13 СП 66.13330):

$$P_{\text{л}} = 2E \left(\frac{h}{D-h} \right)^3 = 2 \cdot 1,7 \cdot 10^5 \left(\frac{9,9}{635-9,9} \right)^3 = 1,35 \text{ МПа};$$

9.5.3 Значение равнодействующей от давления грунта в насыпи составляет:

$$Q_{\text{тр}} = n \gamma H D_{\text{h}} K_{\text{h}} = 1,15 \cdot 16,7 \cdot 2,0 \cdot 0,635 \cdot 1,0 = 24,4 \text{ кН/м}$$

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

9.5.4 Равнодействующая расчетной вертикальной нагрузки от собственного веса трубы определяется по формуле 5.23 СП 66.13330:

$$Q_{\text{тр}} = n \pi \gamma_{\text{т}} h D_{\text{cp}} = 1,15 \cdot 3,14 \cdot 72,6 \cdot 0,0099 \cdot 0,635 = 1,64 \text{ кН/м}$$

$\gamma_{\text{т}}$ - удельная масса трубы = 72,6 $K_{\text{h}}/\text{м}^3$

9.5.5 Равнодействующую расчетную вертикальную нагрузку от массы транспортируемой воды $Q_{\text{в}}$, кН/м, определяют по формуле 9.8 Изменения N 1 СП 66.13330:

$$Q_{\text{в}} = n \frac{\pi}{4} \gamma_{\text{в}} D_{\text{в}}^2 = 1,1 \cdot 0,785 \cdot 9,8 (0,635 - 2 \cdot 0,0099)^2 = 3,3 \text{ кН/м}$$

где n - коэффициент надежности по нагрузке, 1.15

$D_{\text{в}}$ - внутренний диаметр трубы, м; $D_{\text{в}} = D_{\text{h}} - 2h$.

$\gamma_{\text{в}}$ - удельная масса транспортируемой воды = 9,8 кН/м³.

9.5.6. Расчет изгибающих моментов

Момент от воздействия грунта при опирании трубы на плоское основание (2 $\alpha = 30^\circ$) определяется по формуле 9.11 Изменения N 1 СП 66.13330

$$M_{\text{г}} = 0,252 Q_{\text{тр}}^6 r_{\text{cp}} = 0,252 \cdot 24,4 \cdot 0,312 = 1,91 \text{ кНм},$$

где r_{cp} - срединный радиус трубы, $r_{\text{cp}} = \frac{D_{\text{h}} - h}{2} = 0,312 \text{ м}$

Момент от воздействия массы трубы и воды:

$$M = 0,199 (Q_3 \cdot Q_2) r_{\text{cp}} = 0,199 (1,64 \cdot 3,3) \cdot 0,312 = 0,27 \text{ кНм}$$

9.5.7 Расчет суммарного момента

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

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

9.5.8 Предельная раздавливающая нагрузка на трубу, уложенную в грунт определяется по формуле 5.38 СП 66.13330

$$Q_{\text{пп.}}^0 = \frac{m R h^2}{0,95 \cdot \eta \cdot D_{\text{h}}}$$

где R - расчетная прочность, равная 300 МПа;

m - коэффициент условий работы материала труб, равный единице при доверительной

вероятности $p^* \geq 0,997$;

Π - коэффициент, характеризующий боковое горизонтальное давление слабого грунта (отпор грунта), таблица 9.1. Изменения N 1 СП 66.13330, $\Pi = 1$

$$Q^0 = \frac{300 \cdot 10^3 \cdot (0,0099)^2}{0,95 \cdot 1 \cdot 0,635} = 46,3 \text{ кН/м}$$

Для труб класса К-9 $Q^0 = 47,0 \text{ кН/м}$.

Вывод Несущая способность трубы класса К-9 на внешнюю нагрузку достаточна для обеспечения надёжной работы трубопровода, так как $Q^0 = 46,30 \text{ кН/м} < 47,0 \text{ кН/м}$.

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:

из условия $P_g \leq \frac{P_\Pi}{4}$ получают $P_2 = 0,125 \text{ МПа}$, тогда $q_{gp} P_\Pi = 1,35 \text{ МПа}$

P_Π - жесткость трубы, МПа, по М.Леви;

P_Γ - жесткость грунта, МПа.

$q_{ekb} = \frac{Q}{D_H} = \frac{21,97}{63,5} = 0,345 \text{ МПа}$; Коэффициент запаса $K_0 = \frac{1,35}{0,345} = 3,91$ - условиям

устойчивости трубы удовлетворяет.

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

$$f_1 = \frac{Q_{ekb}}{4P_\Pi},$$

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

$$f_0 = 4,08 \leq 0,03 \cdot 63,5 = 19,5 \text{ мм}.$$

Коэффициент запаса $K_0 = 19,5/4,08 = 4,8$

P_Π^* - жесткость по М.Леви = 1,35 МПа.

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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

Условиям жесткости трубы класса К-9 удовлетворяет, так как $f_1 \leq f_0$

9.5.12 Расчёт трубопровода на комбинированную нагрузку.

Определяют значение допустимого внутреннего давления для засыпанного трубопровода

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

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

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

$$q = \frac{R^0}{D_h \cdot \sin \alpha} = \frac{28,86}{0,23 \cdot 63,5} = 1,97 \text{ МПа}$$

$$R^0 = \sum Q = 24,4 + 1,55 + 2,917 = 28,86 \text{ кН/м}$$

Где R^0 - сумма равнодействующих от всех видов внешних нагрузок, действующих на трубу. кН/м. Нагрузка от транспорта отсутствует.

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. СП 31.13330.

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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 для трубопроводов, прокладываемых на всех видах грунтов должны быть аналогичны приведенным в приложении Б СП 66.13330. Сварные фасонные части соединительные из высокопрочного чугуна для напорных трубопроводов аналогичны приведенным в [21]

9.5.18 При прокладке трубопроводов на слабых грунтах возможно применение труб с соединением "TYTON" 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.

* Нумерация соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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 Растворные 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.

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

10.1.5 Расчет трубопроводов с соединениями "RJ" и "RJS" должен проводиться на совместное воздействие окружных 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.*

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

В таблице 10.1 приведены характеристики шарнирных соединений труб типа "RJ" и "RJS". Соединения типов "RJ" и "RJS" неразъемные, "TYTON" - разъемное.

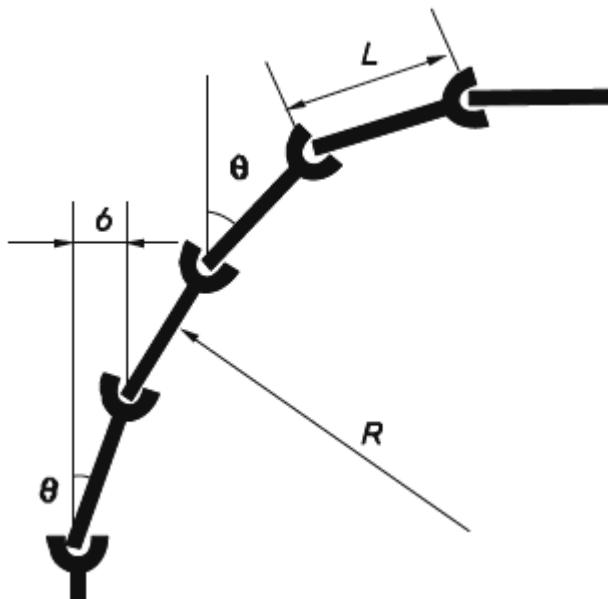
Таблица 10.1 - Характеристики соединения "TYTON", "RJ" и "RJS" для изгиба

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

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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

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

Длину участка изменения направления трубопровода определяют по формуле

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

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

L - длина трубы, м.

При указанных изгибах изгибающие напряжения в раструбах отсутствуют.

10.2 Расчёт труб и соединений типа "RJS" на прочность

10.2.1 Расчёт труб и соединений "RJS" на прочность проводится как провисающая упругая нить на податливом основании с защемленными 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 величины натяжения нити, т.е. трубопровода, при допустимых значениях f , равном* 20 см, определяемое пунктом 16.108 СП 31.13330.

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

10.2.3 Принимая, что на участке ось трубопровода приняла форму параболы (или окружности), с учётом формулы (10.2) можно определить радиус кривизны s^* допуская, что $f > s^*$

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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

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

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

где σ_k - напряжение в кольцевом направлении, МПа;

σ_g - горизонтальное напряжение от воздействия гидравлического давления и силы натяжения от прогиба оси трубопровода,

R_p - расчетное напряжение, равное 300 МПа.

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

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

где q - распределенная внешняя нагрузка, кН/м,

l - расчетный пролёт трубчатой балки, м,

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

$J = r^3 \cdot h$ - момент инерции поперечного сечения трубы, м⁴,

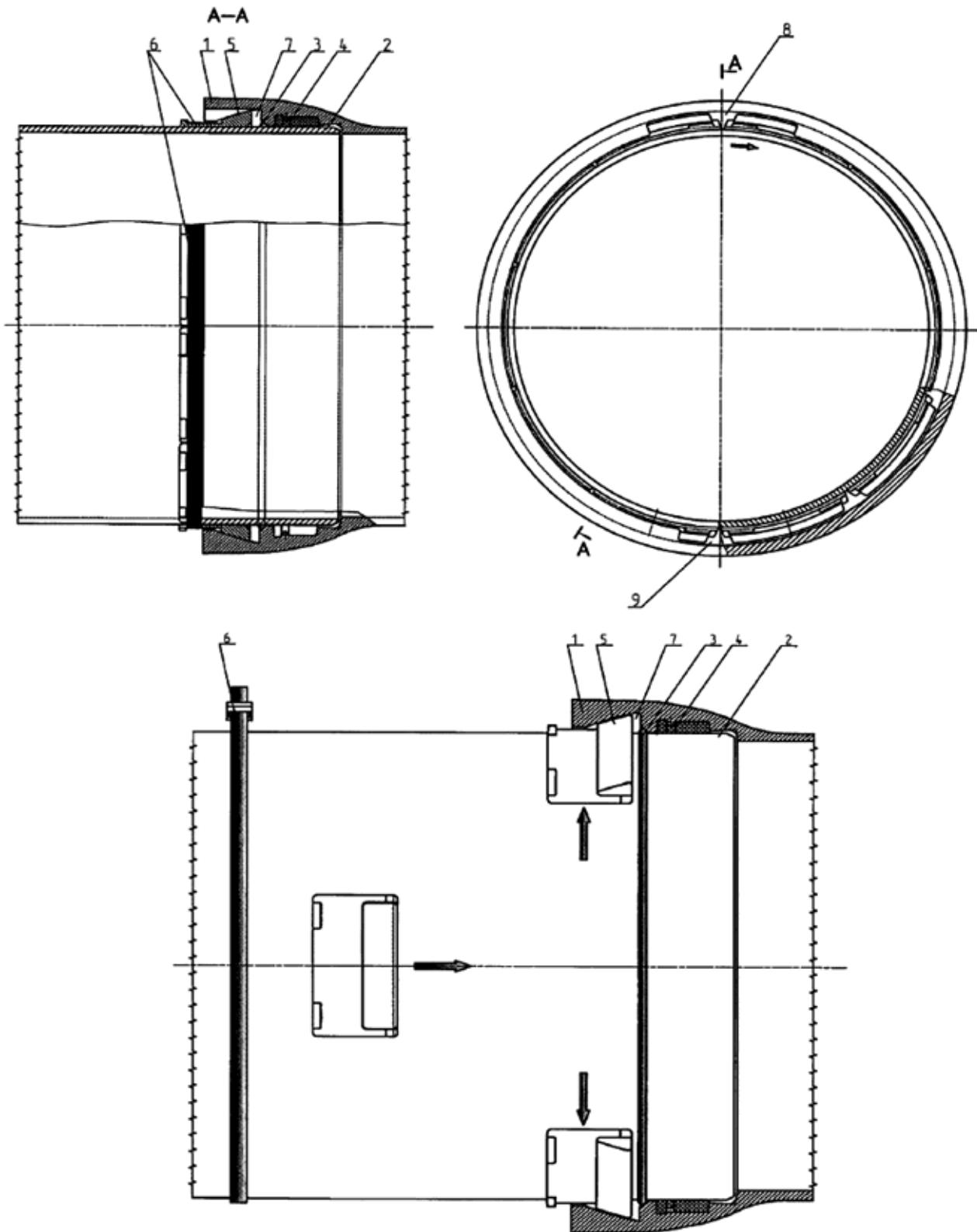
$$\sigma_4 = \frac{M}{W} = \frac{M}{\pi r^2 h} \text{ - напряжение изгиба трубы при } f=0,2 \text{ м, МПа.}$$

10.2.7 Допустимый прогиб растрюба 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 средине параболы или окружности поверхности прогиба.

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 раstrуба, 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 раstrуба 1 имеет кольцевой дугообразный паз 7 и два окна 8 и 9 на торце муфты. В муфту раstrуба устанавливают уплотняющую манжету 4, гладкий конец трубы 2 вдвигается в муфту раstrуба 1. Через окно муфты раstrуба 8 вставляются стопорные элементы 5 и по кольцевому пазу 7 распределяют вправо и влево вокруг 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 стягиваются 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.

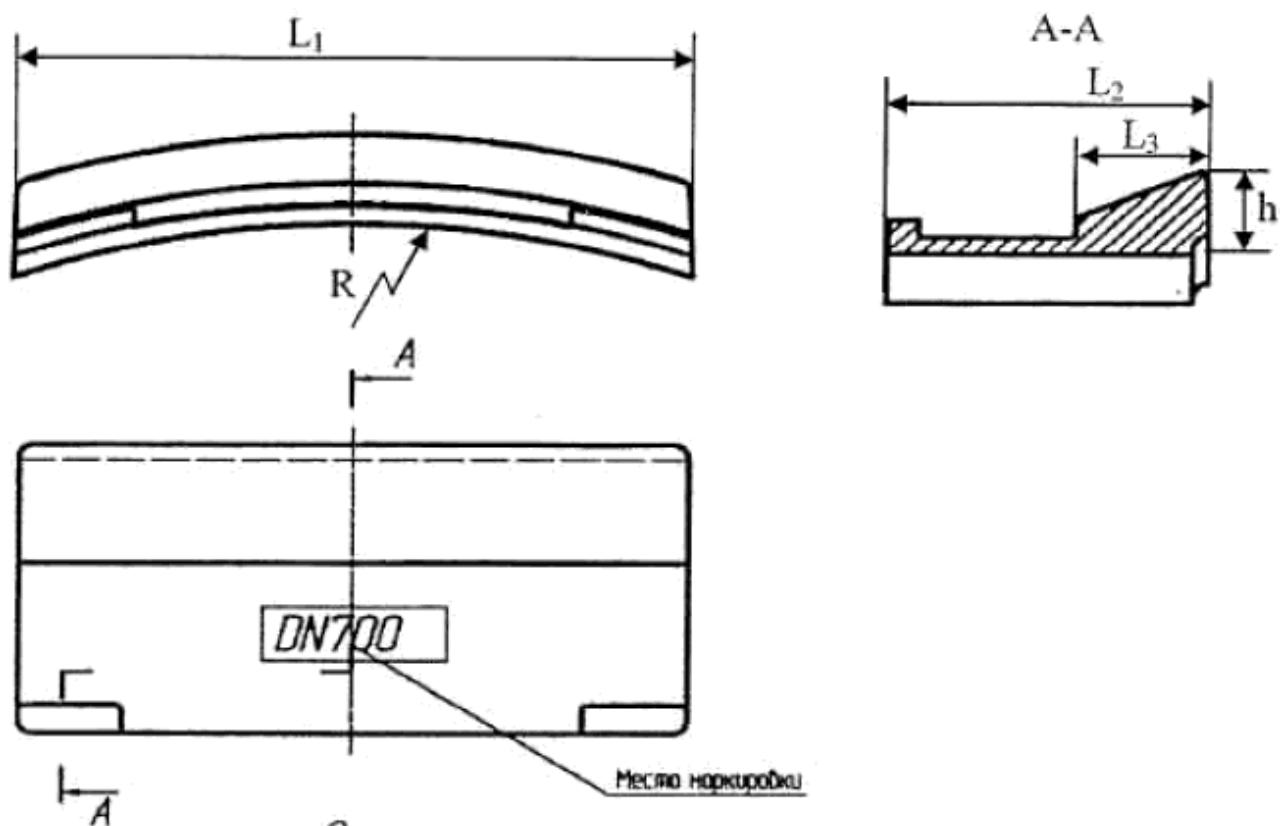


Рисунок 10.3 - Стопорные элементы под соединение типа "RJS"

Таблица 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.

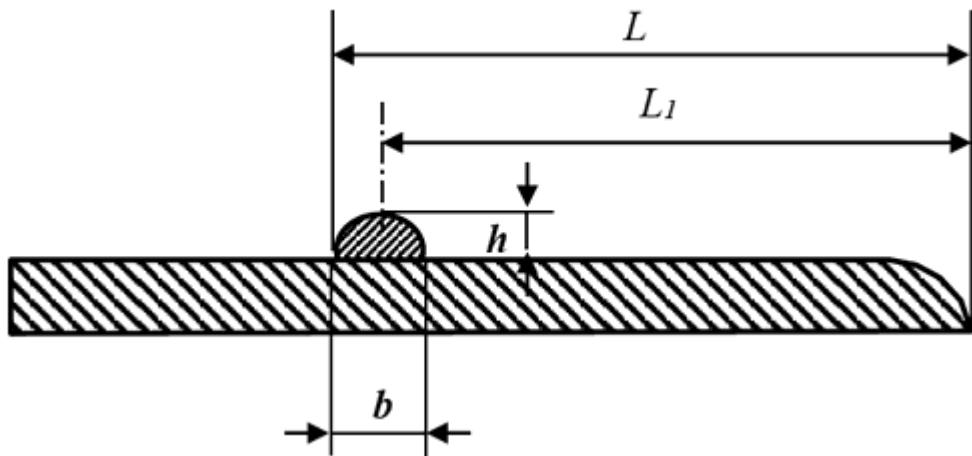


Рисунок 10.4 - Гладкий конец трубы с наплавленным валиком

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

Примечание - L_1 - справочный размер.

Приварку упорного валика осуществляют с помощью медного направляющего кольца, для позиционирования шва.

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 растрuba трубы.

10.3.5 Основным критерием оценки надёжности соединений типов "RJ" и "RJS" принята прочность растрuba 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.

Таблица 10.4 - Несущая способность труб в продольном направлении

Условный проход, D_y , мм	Тип соединения	Допустимый угол отклонения трубы в соединении	Допустимое тяговое усилие, N° , K_H	Максимально допустимый 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

Примечание

1 Допустимые углы отклонения трубы в соединениях определены и подтверждены типовыми испытаниями по ГОСТ Р ИСО 2531, при сохранении целостности растрuba и герметичности соединения в целом.

2 Максимальные тяговые усилия приведены с коэффициентом запаса прочности 2.

3 Таблицу 10.4 использовать для расчетов ГНБ взамен таблиц 7.5 и 8.1 СП 66.13330.2011

10.3.6 Пример расчета

В соответствии с Д.13 приложения Д СП 21.13330.2012 проектирование трубопроводов следует проводить с соблюдением основных требований СП 31.13330.2012 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 усадочности - 60 м, рабочее давление - 1,6 МПа, испытательное давление - 2,5 МПа. Трубопровод защемлен с двух концов.

Суммарная удельная внешняя равнодействующая нагрузка:

$$R^0 = Q_{\text{тр}} + Q_{\text{tp}} + Q_{\text{в}} = 24,4 + 1,55 + 2,91 = 28,86 \frac{\text{kH}}{\text{м}}.$$

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

$$F_c = \frac{q l^2}{8f} = \frac{28,86 \cdot 3600}{8 \cdot 0,2} = 64,93 \text{ кН.}$$

В таблице 10.4 максимальное осевое усилие прочности соединения "RJS" равно 1200 кН.

Натяжение F_c составляет $\frac{64,93}{1200} = 0,054$ или меньше 6,4%.

Напряжение в стенке трубы в продольном направлении от воздействия силы N

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{N}{F} = \frac{P\pi D_{\text{в}}^2}{4\pi D_{\text{в}} h} = \frac{PD_{\text{в}}}{4h}.$$

где F - площадь сечения трубы;

при $P=1,6$ МПа $\sigma_{\text{т}} = 25,4$ МПа;

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

Кольцевые напряжения от воздействия внутреннего давления:

$$\sigma_{\text{о}} = \frac{PD}{2h} = \frac{61,52}{2 \cdot 0,99},$$

где $\sigma_{\text{о}} = 49,7$ МПа при $P=1,6$ МПа;

$\sigma_{\text{о}} = 77,6$ МПа при $P=2,5$ МПа.

Напряжение в продольном направлении трубы от силы F_c :

I Вариант без воздействия внешних нагрузок

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{F_c}{F} = \frac{64,93}{189,4} = 3,4 \text{ МПа.}$$

Суммарные напряжения в продольном направлении:

$$\sigma_{\text{т}} = \sigma_{\text{1}} \xi_{\text{т}}^1 + \sigma^0 = 25,4 + 3,4 = 28,8 \text{ МПа при 1,6 МПа};$$

$$\sigma_{\text{т}} = \sigma_{\text{1}} + \sigma^0 = 39,7 + 3,4 = 43,1 \text{ МПа при 2,5 МПа.}$$

Напряжения от одновременного воздействия гидравлического давления и силы F_c :

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

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

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

Коэффициенты запаса прочности:

$$\text{При } P=1,6 \text{ МПа } K_o^r = \frac{300}{43,12} = 6,95,$$

$$\text{При } P=2,5 \text{ МПа } K_o^r = 4,53.$$

Условиям прочности трубы 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 поверочный расчёт труб класса К-9 диаметрам 80-200 мм, опёртой по концам, на поперечный изгиб распределённой нагрузкой от воздействия грунта засыпки и транспорта А-4 на прогиб, производят по формуле* (10.7).

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Ниже приведен пример расчета трубы диаметром 200 мм.

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

где $q = 8,43_{tp} + 0,51_T + 0,77_{tp} = 9,41 \text{ кН/м}$ получены в соответствии с п.5 СП 66.13330.2011

$J=2492,6 \text{ см}^4$ - момент инерции поперечного сечения трубы, см⁴.

Условиям жёсткости трубы класса К-9 диаметром 200 мм удовлетворяет, $f=10,5 \text{ см} < 20,0 \text{ см.}$

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 также для всего параметрического ряда диаметров 80-1000 мм труб ВЧШГ при длине труб 6 м.

10.3.9 Суммарное напряжение с учетом нагрузки от массы грунта и массы транспорта

Кольцевое напряжение в трубе от воздействия внешних нагрузок вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \frac{QD_{cp}}{0,524bh^2}, \quad (10.8)$$

где D_{cp} - срединный диаметр, 62,5 см;

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

b - расчетная длина трубы, равная 100 см;

h - толщина стенки трубы, см.

И оно составляет

$$\sigma_p = \frac{33,8 \cdot 62,5}{0,524 \cdot 100 \cdot 0,99} = 41,17 \text{ МПа.}$$

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

При $P=1,6$ МПа = $25,4 + 41,17 = 66,57$ МПа;
При $P=2,5$ МПа = $39,7 + 41,17 = 80,87$ 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:

$$K_0 = \frac{300}{57,8} = 5,19 \text{ и } \frac{300}{76,79} = 3,91,$$

где $R_p = 300$ 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 "TYTON", но только с устройством упоров.

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

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 СП 66.13330.201*1 и таблицы 10.4.

* Вероятно, ошибка оригинала. Следует читать: СП 66.13330.2011. - Примечание изготовителя базы данных.

10.3.16 Длину протягиваемых плетей L_{Π} определяют по формуле

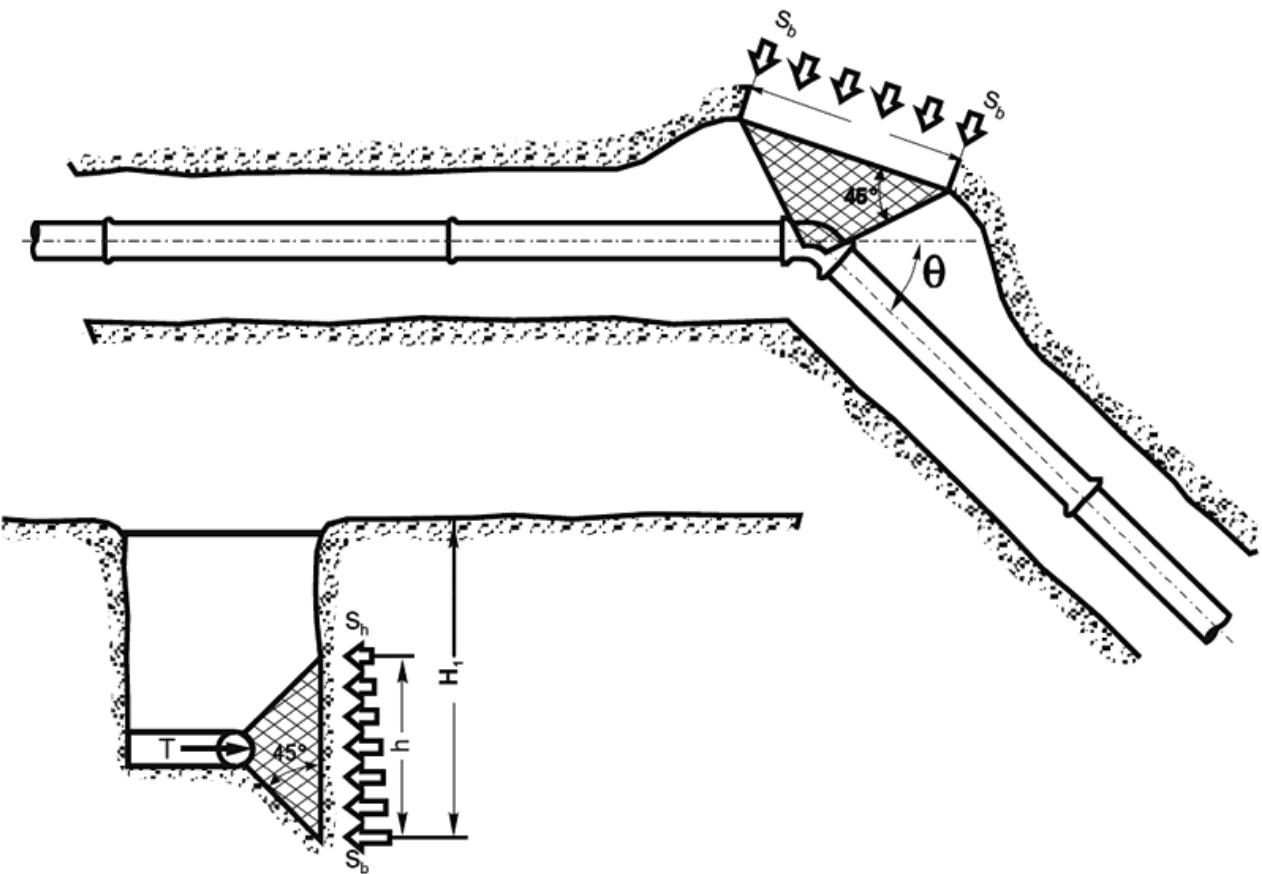
$$L_{\Pi} = \frac{N_s^0}{Q_{\text{тр}} \cdot f_0} \quad (10.9)$$

где N_s^0 - допустимое тяговое усилие, кН, $Q_{\text{тр}}$ - масса погонного метра трубы, кН, f_0 - коэффициент трения трубы о грунт, безразмерная величина, определяется опытным путем для различных видов грунта, значения f_0 лежат в пределах $1 \geq f_0 \neq 0$.

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 приведён 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 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 nomogrammам, 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.

* Формула и экспликация к ней соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

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 затруднённостью условий строительства, либо низкой прочностью грунта.

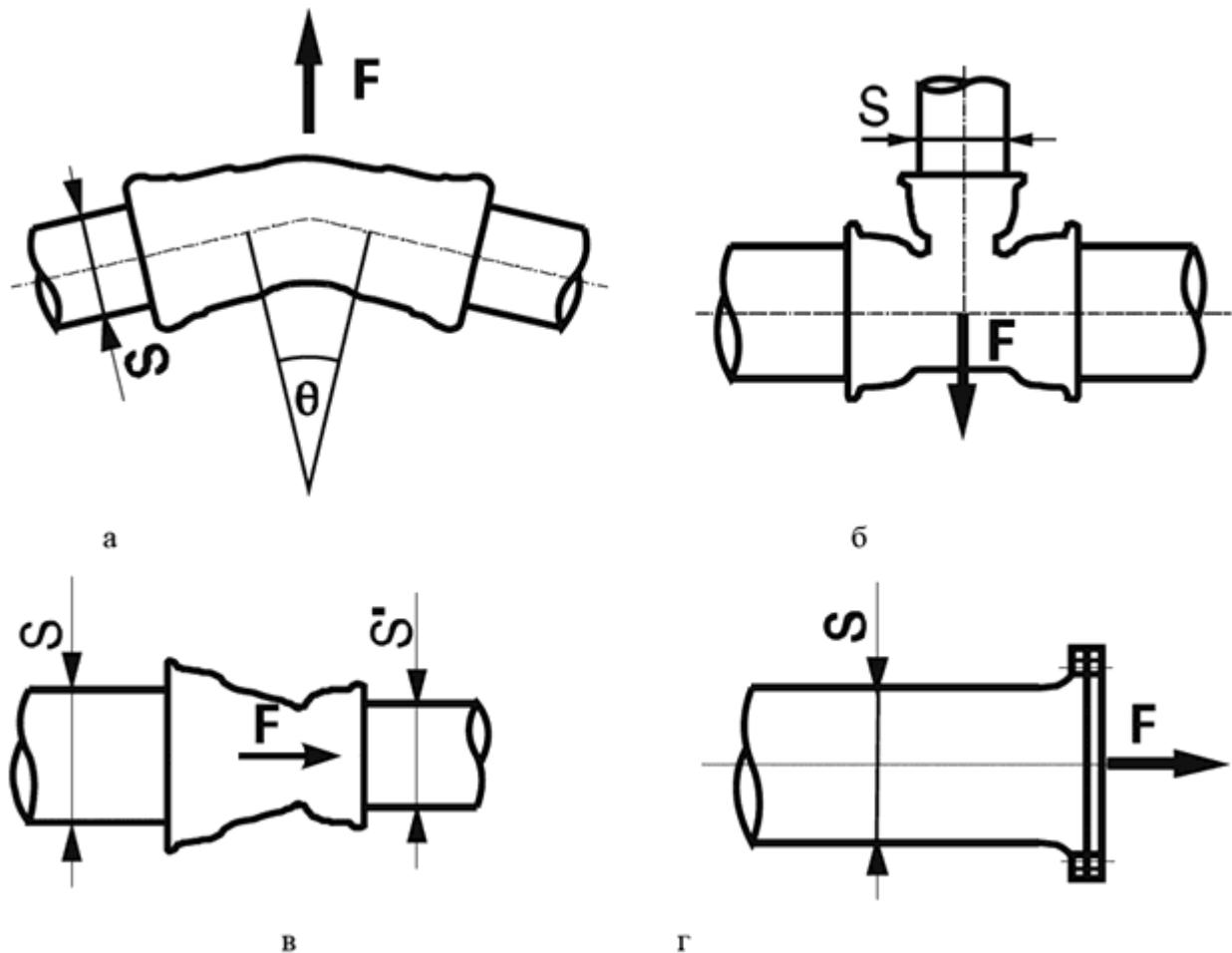


Рисунок 11.2 - Примеры схем конструкций соединений труб

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 В гравитационном блоке его масса 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:

$$V_\delta = \frac{S_t PS \sin \theta}{\gamma_b}, \quad (11.2)$$

где P - давление воды в трубопроводе, МПа;

S - площадь поперечного сечения трубы, см²;

θ - угол изгиба трубы, градус;

γ_b - 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.

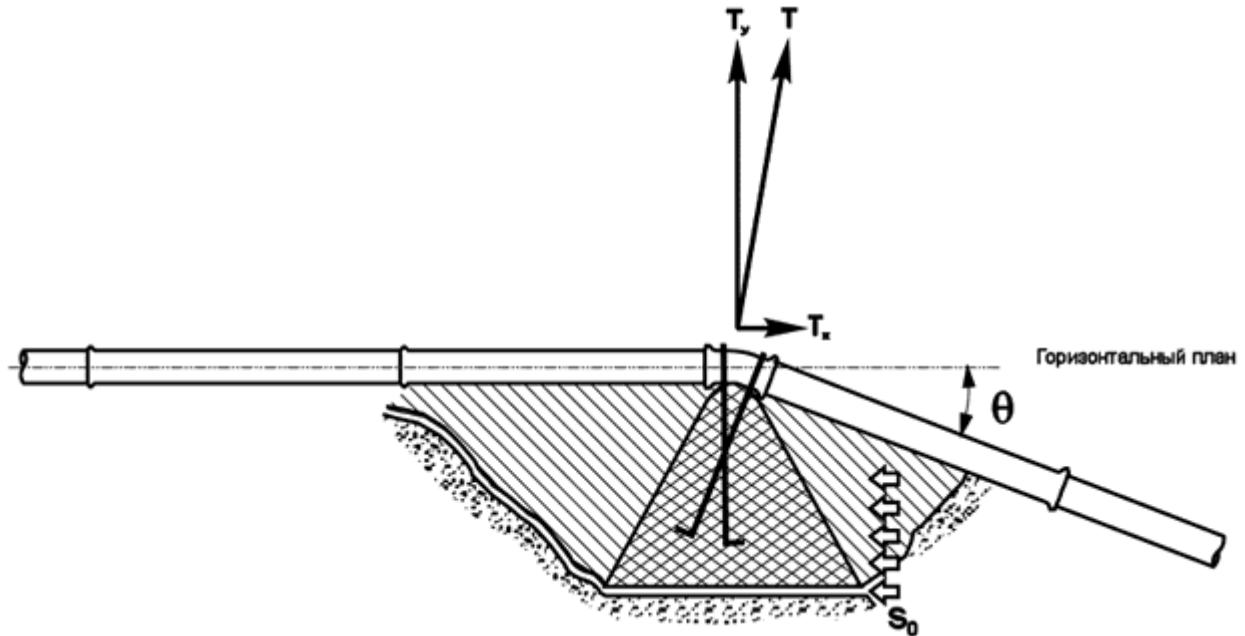


Рисунок 11.3 - Гравитационный блок для вертикальных изгибов

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 брилова 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:

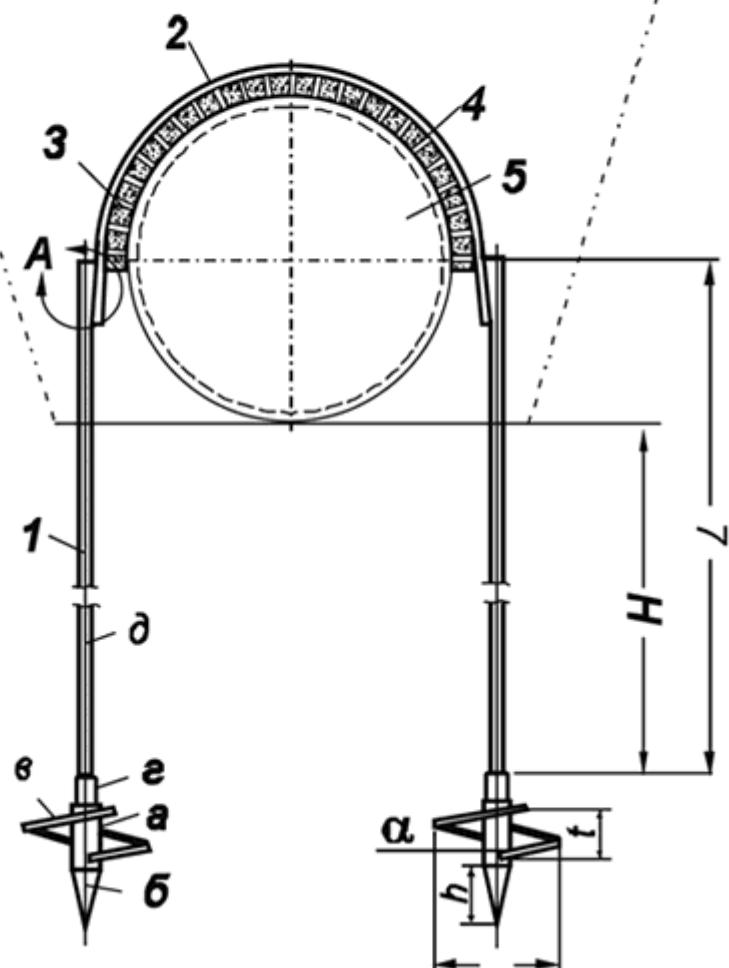
900 кН - в крупнозернистых и среднезернистых устойчивых влажных грунтах;

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 - головок, 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:

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

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

D_h - наружный диаметр труб, см;

γ_B - объемная масса жидкости 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:

$$l_{\text{пр}} \leq 0,02 \cdot \sqrt[4]{\frac{12EhD_h f_{\text{доп}}}{\gamma - 4 \frac{h}{D_h} \gamma}} ;$$

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

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^h - нормативное сопротивление растяжению, сжатию и изгибу материала анкера, определяемое из условия достижения предела текучести ($R_2^h = \sigma_0$), МПа;

R_p - 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 типов "RJ" или "RJS", которые защемляются в грунте.

Этот метод состоит в фиксации (закреплении) необходимого числа соединяемых труб с каждой стороны трубопровода для использования силы защемления 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. $Q_1 = 0,7 Q_0$, 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 рисунке 7.1 СП 66.13330.

Дополнительно основание материкового грунта испытывает давление от массы трубы $Q_{\text{тр}}$ и воды Q_B .

Для расчёта принимают суммарное среднее значение давления грунта по горизонтальной плоскости, проходящей через центр трубопровода, от массы трубы.

11.9.1 Среднее давление грунта засыпки определяется по формуле

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

где γ_{cp} - объёмная масса грунта засыпки;

h_{cp} - высота засыпки, м

11.9.2 Давление q_0 от Q_{tp} и Q_B определяют по формуле:

$$q_0 = \frac{Q_{tp} + Q_B}{F}, \quad (11.5)$$

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

Q_{tp} - масса трубы, кН/м³;

Q_B - масса воды, кН/м³.

11.9.3 Общее удельное давление на грунтовое основание от этих нагрузок определяется по формуле:

$$\sigma_0 = q_{gp} + q_{tp} + q_B, \quad (11.6)$$

где q_B - удельное давление от массы воды,

q_{tp} - удельное давление от массы трубы,

q_{gp} - удельное давление грунта на трубу трубы.*

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

11.10 Защемление трубы в грунте рассматривается как противодействие контактного касательного напряжения τ осевому перемещению трубы от действия осевых нагрузок. В этом случае значение защемления рассчитывают по формулам:

$$\tau_{np} = \sigma_0 \operatorname{tg} \phi + C \text{ - для концевых сечений упругих участков:}$$

а) для участков, сложенных суглинками:

$$\tau_{np} = \sigma_0 \operatorname{tg} \phi + C; \quad (11.7)$$

б) для участков, сложенных пластичными глинистыми грунтами:

$$\tau_{np} = \sigma_0 \operatorname{tg} \phi + 0,2C; \quad (11.8)$$

в) для участков, сложенных песчаными и супесчаными грунтами:

$$\tau_{np} = \sigma_0 \operatorname{tg} \phi, \quad (11.9)$$

где τ_{np} - напряжение защемления на контакте труба-грунт в продольном направлении, МПа;

ϕ - угол внутреннего трения грунта, 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 СП 21.13330 приложения Б и В.

11.12 Расчёт закрепительной длины трубопровода с соединениями "RJ" и "RJS"

11.12.1 Значение длины защемления трубы в грунте вычисляют по формуле

$$Q_0 = \pi D_n \cdot \tau \cdot l, \quad (11.10)$$

где Q_0 - значение защемления трубы, кН/м;

D_n - наружный диаметр см;

τ - касательное напряжение защемления трубы, МПа;

l - расчетная длина трубы, 100 см.

11.12.2 Длину закрепляемой линии защемления определяют по формуле

$$L = \frac{F}{Q_0} \quad L = \frac{F}{Q_0}, \quad (11.11)$$

где F - сила гидравлического давления, кН.

Q_0 - значение защемления, кН/м.

11.12.3 Пример расчета

Трубу класса К-9 наружным диаметром 63,5 см укладывают в траншею глубиной 2 м. Грунт основания категории Г-III, объемная масса - 17,7 кН/м², Y - 28°. С - сила сцепления грунта 0,19 кг/см². Следует определить длину закрепительной линии трубопровода с соединением типа "RJS" при расчетном испытательном давлении и испытательном давлении на герметичность.

Для этого определяют внешние нагрузки.

Равнодействующая нагрузка от грунта:

$$Q_{\text{гр}} = n \gamma H D_n K_n = 1,15 \cdot 17,7 \cdot 2,0 \cdot 0,635 \cdot 1,0 = 25,8 \text{ кН/м}$$

Равнодействующая нагрузка от веса трубы

$$Q_3 = n \pi \gamma_t h D_{\text{cp}} = 1,15 \cdot 3,14 \cdot 72,6 \cdot 0,0099 \cdot 0,635 = 1,64 \text{ кН/м}$$

$\gamma_{\text{тр}}$ - удельная масса трубы = 72,6 $K_{\text{н}}/\text{м}^3$

Равнодействующая нагрузка от воды.

$$Q_6 = n \frac{\pi}{4} \gamma_n D_{\text{в}}^2 = 1,1 \cdot 0,785 \cdot 9,8 (0,635 - 2 \cdot 0,0099)^2 = 3,3 \text{ кН/м}$$

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

$$q_{\text{тр}} = \frac{1,64}{99,69} = 0,164 \text{ МПа:}$$

$$q_{\text{в}} = \frac{3,3}{99,69} = 0,34 \text{ МПа,}$$

$$q_{\text{тр}} = \frac{25,8}{99,69} = 25,72 \text{ кг/см}^2 = 2,66 \text{ МПа;} \\ q_{\text{тр}} + q_{\text{в}} = 0,164 + 0,34 = 0,504 \text{ МПа.}$$

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

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

$$q_{\text{тр}} + q_{\text{в}} + q_{\text{тр}} = 2,66 + 0,504 + 0,34 = 3,504 \text{ МПа.}$$

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

$$Q_o' = F \cdot \tau = 99,69 \cdot 2,28 = 227,9 \text{ (22,79 МПа):} \\ Q_o'' = 99,69 \cdot 30,6 \cdot 0,47 + 0,19 = 1432 \text{ (143,2 МПа).}$$

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 защемления линии:

$$L_1 = \frac{58800}{227,9} = 250l = 250 \text{ м (42 трубы длиной 6 м);} \\ L_2 = \frac{58800 \text{ кг}}{1432} = 40,5l = 40,5 \text{ м (7 труб длиной 6 м).}$$

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 защемления:

$$L = \frac{73500}{1432} = 65,8 \text{ м.}$$

Расчеты показывают, что при засыпанном трубопроводе должны использоваться трубы ВЧШГ с соединениями типа "RJS", "RJ", "TYTON" 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 защемления 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 используется при расчете подтопленных трубопроводов с применением физико-механических показателей увлажненных грунтов.

11.12.6 Растворные трубы из ВЧШГ с соединениями "RJS", "RJ", применяются во всех видах грунтов, без устройства упоров.

Библиографию дополнить документом [21]

[21] ТУ 1468-041-90910065-2013. Части соединительные сварные из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для напорных трубопроводов.

Библиографические данные изложить в новой редакции.

УДК 628.1.033: 006.354

ОКС 93 025

Ключевые слова: трубопровод, труба из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, ВЧШГ, воздействие, давление, прочность, нагрузка, грунт, соединение, надежность

Руководитель организации-разработчика

Генеральный директор ОАО "МосводоканалНИИпроект"

профессор, д-р техн. наук

Е.И.Пупырев

Заместитель Генерального директора

ОАО "МосводоканалНИИпроект"

по научным исследованиям

профессор, д-р техн. наук

О.Г.Примин

Ответственный разработчик

Старший научный сотрудник

ОАО "МосводоканалНИИпроект"

кандидат техн. наук

А.Д.Алиференков