

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

ШЕПЕЛЕВИЧ Н.И.

РУП «Институт БелНИИС»

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА ТРУБЫ.

1.1 Нагрузки подразделяются на: постоянные и временные. Виды нагрузок и коэффициент надежности по нагрузке γ_f приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент надежности от вида нагрузки

№ п/п	Вид нагрузки и ее обозначение	Коэффициент надежности, γ_f
Постоянные		
1	Собственный вес трубы, $G_{св}^n$	1,35
2	Давление грунта засыпки: - вертикальное, q_v - горизонтальное, q_n	1,2 1,2 (0,9)
Временные, длительного действия		
3	Давление, передающееся через грунт от временной подвижной нагрузки при расположении трубопровода в местах регулярного движения транспорта (НГ60 или НК80): - вертикальное, p_v - горизонтальное, p_n	1,2 1,0
4	Гидростатическое давление грунтовых вод, p_w	1,1 (0,9)
5	Вес транспортируемой жидкости Q_f	1,1 (0,9)
Кратковременные нагрузки		
6	Давление, передающееся через грунт от нагрузки класса Н10 или Н30 (в местах не регулярного движения автомобильного транспорта): - вертикальное, p_v - горизонтальное, p_n	1,2 1,2 (0,9)
7	Давление, передающееся через грунт от равномерно-распределенной нагрузки на поверхности 5 кН/м^2 (в местах где движение транспорта невозможно): - вертикальное, p_v - горизонтальное, p_n	1,4 1,0 (0,8)

Примечание. Значение коэффициента надежности по нагрузке γ_f , указанные в скобках, принимаются при расчете сечений для которых нагрузка оказывает благоприятное (разгружающее) действие.

1.2 Давление грунта на трубы зависит от вида грунта и способа укладки. При строительстве трубопроводов открытым способом применяют три метода укладки труб: в траншею; под насыпь; в прорезь (см. рисунки 1–3).

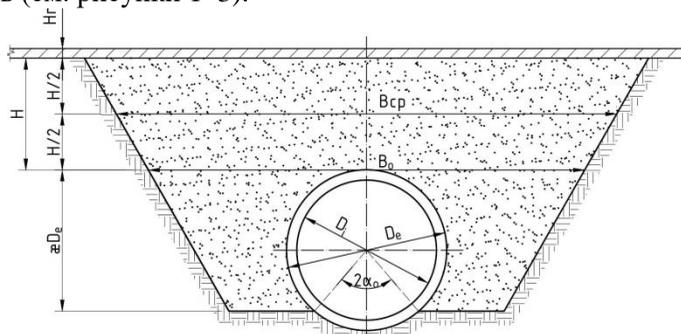


Рис. 1. Укладка труб в траншею на грунтовое профилированное основание

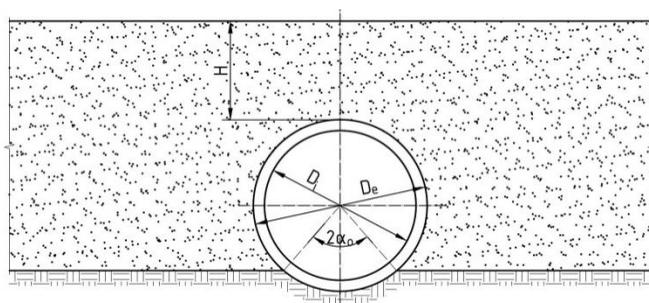


Рис. 2. Укладка труб в насыпь на грунтовое профилированное основание

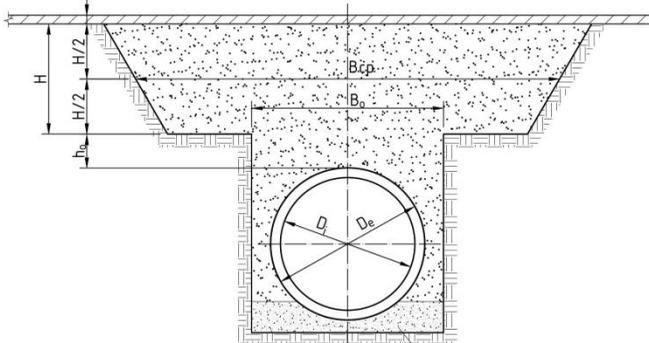


Рис. 3. Укладка труб в прорезь на песчаную подушку

1.3. Грунты засыпки условно подразделяются на 4 группы.

Таблица 2 – Группы грунтов

Условная группа грунта засыпки	Наименование грунтов	Удельный вес $\gamma_{гр}$, кН/м ³	Модуль деформации при уплотнении пазух, $E_{тр}$, МПа		
			Нормальн.	Повышен.	Намывом
1	2	3	4	5	6
Г-I	Пески, кроме пылеватых	16,7	7,0	14,0	21,5
Г-II	Пески пылеватые	16,7	3,9	7,4	9,8
Г-III	Супеси и суглинки	17,7	2,2	4,4	---
Г-IV	Глины	18,6	1,2	2,4	---

1.4. При засыпке трубопроводов должно производиться послойное уплотнение грунта в пазухах траншеи с обеспечением коэффициента уплотнения K_y , не менее: 0,85 – при нормальной степени уплотнения; 0,93 – при повышенной степени уплотнения; 0,97 – при уплотнении песчаных грунтов намывом.

Для обеспечения расчетной работы трубы уплотнение грунта должно производиться не менее чем на 30 см выше верха трубы.

1.5. Нормативное значение вертикального давления грунта q_v определяется по формулам:

- при укладке труб в траншее:

$$q_v = \gamma_n \cdot H \cdot B/D_m \cdot k_{mp} \cdot \psi; \quad (1)$$

- при укладке труб в насыпи:

$$q_v = \gamma_n \cdot H \cdot D_e/D_m \cdot k_n; \quad (2)$$

- при укладке труб в прорези:

$$q_v = \gamma_n \cdot H \cdot B_n/D_m \cdot k_{np}, \quad (3)$$

где H , D_e , B , B_n , B_{cp} и h_c – геометрические размеры по рисункам;

Если $\psi \leq D_e/B$, то принимают $\psi = D_e/B$.

1.6. Значения коэффициентов k_{mp} , k_n и k_{np} принимают по таблицам.

1.7. Нормативное значение горизонтального (бокового) давления грунта на трубы определяется по формулам:

- при укладке труб в траншее

$$q_n = \gamma_n \cdot H \cdot B/D_m \cdot k_{mp} \cdot \lambda_{mp}; \quad (4)$$

- при укладке труб в насыпи

$$q_n = \gamma_n \cdot (H + 0,5 D_e) D_e/D_m \cdot \lambda_n; \quad (5)$$

- при закрытой проходке

$$q_n = \gamma_n \cdot h_c \cdot \tau_n. \quad (6)$$

При укладке труб в прорезь боковое давление грунта не учитывается.

Таблица 3 – Коэффициент для категорий грунтов

H/B_{cp}	Коэффициент k_{mp} при категории грунтов засыпки		
	Г-I	Г-II, Г-III	Г-IV
0	1,000	1,000	1,000
0,2	0,962	0,968	0,974
0,4	0,928	0,937	0,948
0,6	0,896	0,910	0,925
0,8	0,867	0,883	0,902
1,0	0,839	0,862	0,882
1,2	0,806	0,831	0,865
1,4	0,796	0,823	0,849
2,0	0,725	0,750	0,780
3,0	0,630	0,660	0,690
4,0	0,555	0,585	0,620
5,0	0,490	0,520	0,560
6,0	0,435	0,470	0,505

Таблица 4 – Коэффициент k_n для грунтовых оснований

Вид грунта основания	Модуль деформации грунта E_{cp} , МПа	Коэффициент k_n при отношении $h/d_e > 2,5$ и укладке труб на ненарушенное грунтовое основание			
		Плоское	Профилированное с углом охвата 2α		Бетонный фундамент с $2\alpha = 120^\circ$
			75°	90°	
Пески крупные и средние: - рыхлые; - средней плотности; - плотные	менее 25	1,10	1,15	1,20	1,30
	$25 < E_{cp} < 40$	1,25	1,28	1,30	1,40
	Более 40	1,40	1,43	1,45	1,50
Пески мелкие: - рыхлые; - средней плотности; - плотные	менее 20	1,10	1,15	1,20	1,30
	$20 < E_{cp} < 33$	1,25	1,28	1,30	1,40
	Более 33	1,40	1,43	1,45	1,50
Пески пылеватые: - средней плотности; - плотные	Менее 18	1,10	1,15	1,20	1,30
	18 и более	1,25	1,28	1,30	1,40
Супеси	менее 9	1,10	1,15	1,20	1,30
	$9 \leq E_{cp} < 22$	1,25	1,28	1,30	1,40
	$22 \leq E_{cp} < 40$	1,40	1,43	1,44	1,50
	Более 40	1,60	1,60	1,60	1,60

Окончание таблицы 4

Суглинки	менее 7	1,10	1,15	1,20	1,30
	$7 \leq E_{zp} < 17$	1,25	1,28	1,30	1,40
	$17 \leq E_{zp} < 30$	1,40	1,43	1,45	1,50
	Более 30	1,60	1,60	1,60	1,60
Глины	менее 5	1,10	1,15	1,20	1,30
	$5 \leq E_{zp} < 13$	1,25	1,28	1,30	1,40
	$13 \leq E_{zp} < 23$	1,40	1,43	1,45	1,50
	Более 23	1,60	1,60	1,60	1,60

Таблица 5 – Значение коэффициента k_n

h_x/D_e	0	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0
Коэффициент k_n	1,0	0,83	0,71	0,63	0,57	0,52

5.4.12 Значения коэффициентов $\lambda_{тр}$ и λ_n принимают по таблице в зависимости от категории грунта засыпки и степени его уплотнения.

Таблица 6 – Значения коэффициентов $\lambda_{тр}$ и λ_n

Группа грунта засыпки	Коэффициенты $\lambda_{тр}$, λ_n и η при степени уплотнения засыпки:									
	Нормальной (не контролируемой)				повышенной (контролируемой)				Плотной, при намыве (контролируемой)	
	При укладке труб в									
	траншею		насыпь		траншею		насыпь		траншею	
	$\lambda_{тр}$	η	λ_n	η	$\lambda_{тр}$	η	λ_n	η	$\lambda_{тр}$	η
Г-I,	0,15	0,93	0,33	0,84	0,40	0,82	0,50	0,78	0,50	0,78
Г-II, Г-III,	0,10	0,95	0,25	0,88	0,30	0,85	0,40	0,82	-----	-----
Г-IV	0,05	0,97	0,15	0,93	0,20	0,88	0,30	0,88	-----	-----

2. Определение внутренних усилия в стенке трубы.

2.1. Расчетная схема сечений стенки трубы приведена на рис. 4.

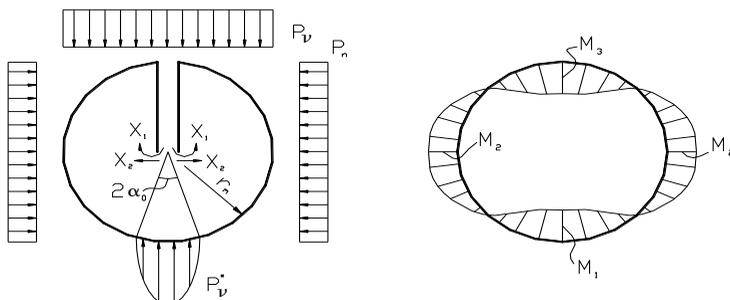


Рис. 4. Расчетная схема трубы

На рис. 4 p_v и p_n – соответственно вертикальное и горизонтальное давление;

p^* - реакция основания трубопровода.

2.2. Изгибающие моменты $M_{1,2,3}$ определяются по формулам

$$M_{1,2,3} = \delta \cdot (p_v - p_n) \cdot r_m^2 \cdot b; \quad \text{или} \quad (7)$$

$$M_{1,2,3} = \delta \cdot p_v (1 - \tau) \cdot r_m^2 \cdot b; \quad (8)$$

где δ - коэффициент, учитывающий положение сечения и тип основания;

r_m и b – средний радиус трубы и расчетная ширина сечения;

τ – коэффициент горизонтального давления.

2.3. Расчетная схема трубы по методу «упругого пространства»

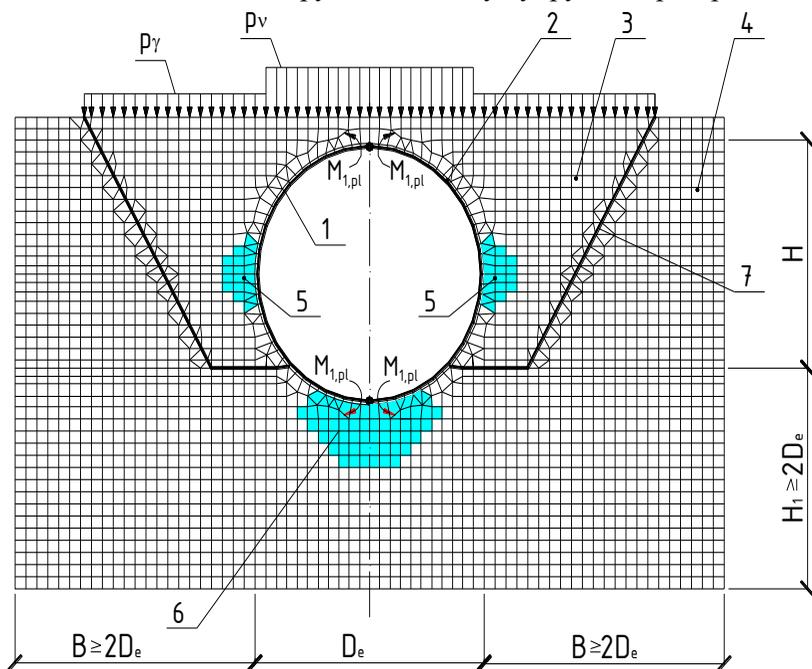


Рис. 5. Расчетная конечно-элементная модель трубы в траншее:

1 – стержневые конечными элементами 1; 2 – стержневых элементов с жесткостью на сжатие (зона контакта); 3 – плоские элементы грунта засыпки; 4 – элементы грунта ненарушенной структуры; 5 – зона уплотнения; 6 – зона контакта трубы с основанием.

3. Методика расчета ширины раскрытия трещин

3.1 Расчетная конечно-элементная модель фрагмента трубы представлена на рисунке.

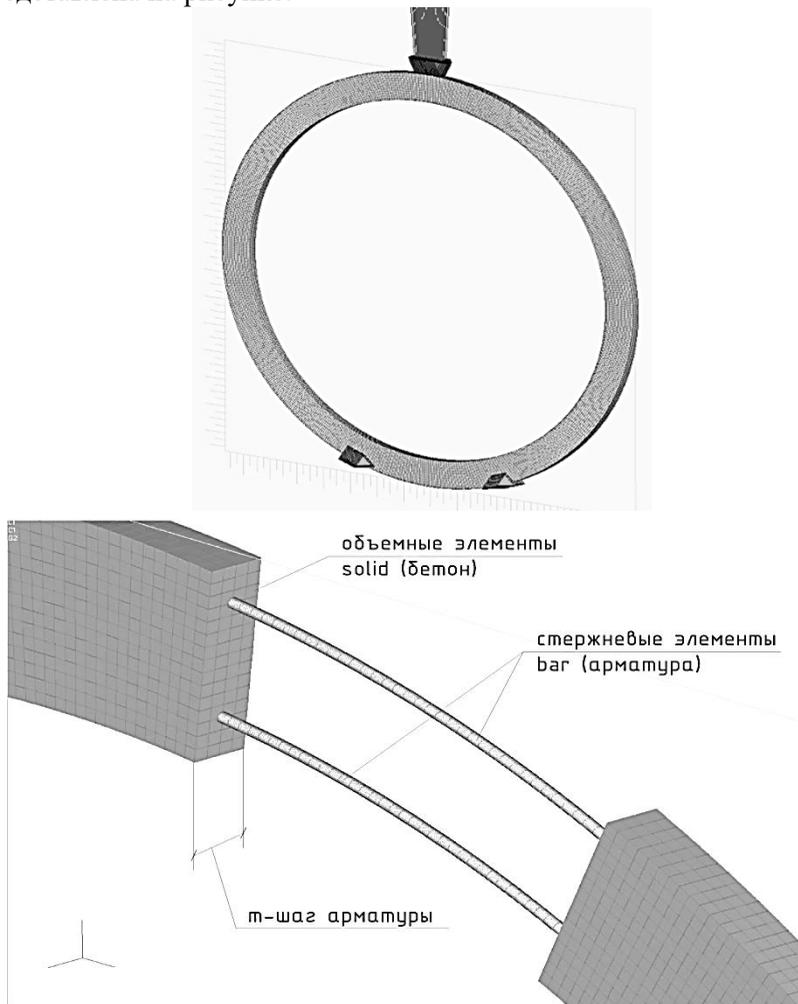


Рис. 6. Расчетная модель продольных сечений стенки трубы

3.2. Мозаика напряженно-деформированного состояния сечений стенки трубы при нагружении и места образования продольных трещин в стенке трубы приведены на рисунке 7.

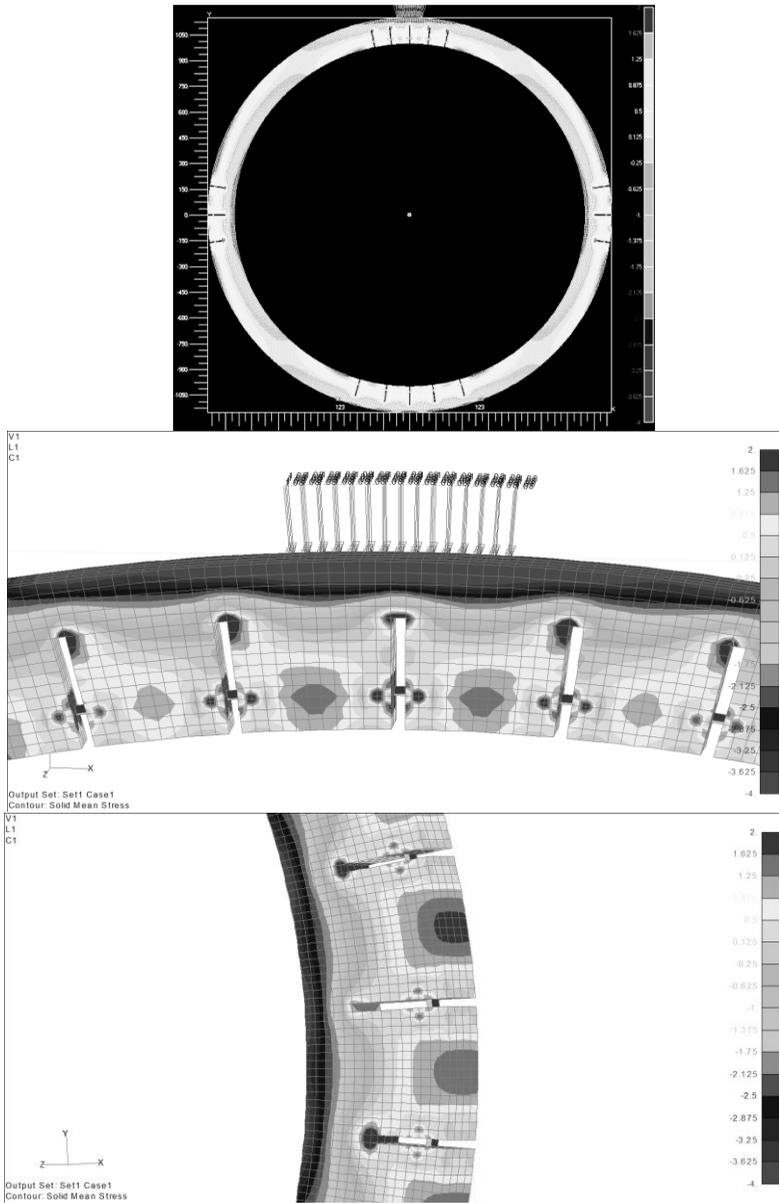


Рис. 7. Мозаика напряженно-деформированного состояния сечений стенки трубы

3.3. Расчетную ширину раскрытия трещин w_k , определяют по формуле:

$$W_k = (\varepsilon_{s,m} - \varepsilon_{bt,m}) \cdot s_m ,$$

где $\varepsilon_{s,m}$ и $\varepsilon_{bt,m}$ — средние значения относительных деформаций растяжения арматуры и бетона:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot n_i}{\sum n_i} ; \quad \varepsilon_{bt,m} = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot n_i}{\sum n_i} ,$$

s_m — среднее расстояние между трещинами, определяемое из конечно-элементной модели.

В таблице 7 приведены результаты расчета ширины раскрытия трещин в продольных сечениях стенки трубы.

Таблица 7 – Результаты расчета ширины раскрытия трещин

Нагрузка, кН/м	Ширина раскрытия трещин согласно различным методикам				
	СНиП 2.03.01-В84*	СНБ 5.03.01-02	СНиП 2.05.03-84	Опытные данные	Расчетная модель
Труба ТБ 100.25-5					
115	0,19	0,20	0,23	0,1	0,12
135	0,23	0,25	0,26	0,2	0,21
155	0,32	0,36	0,37	0,28	0,30
Труба ТБ 200.25-3					
110	0,12	0,13	0,13	0,08	0,09
125	0,27	0,29	0,29	0,2	0,23
140	0,49	0,55	0,56	0,42	0,44

Вывод.

Результаты расчета ширины раскрытия трещин по разработанной методике наиболее близки к опытным значениям.