

Расчет на соответствие требованиям по прочности и несущей способности

Ввод исходных данных

Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Величина
Грунт засыпки: 1 - пески гравелистые, крупные и средней крупности; 2 - пески мелкие; 3 - пески пылеватые, супеси; 4 - суглинки полутвердые, тугопластичные и текучепластичные; 5 - супеси и суглинки твердые; 6 - глины		5
Рабочее давление	p , МПа	0.6
Плотность грунта	ρ_m , кН/м ³	19.8
Ширина траншеи на уровне верха газопровода	B , м	0.8
Радиус упругого изгиба газопровода	ρ , м	90
Расстояние от верха трубы до поверхности земли	h_m , м	1.74
Высота столба грунтовых вод над верхней образующей газопровода	h_w , м	1
Имеющаяся овализация трубы	%	2
Дополнительные напряжения, обусловленные прокладкой в особых условиях: - для среднепучинистых и сильнопучинистых -- 0,5; - для чрезмернопучинистых -- 0,8; - для средненабухающих и грунтов II типа просадочности -- 0,6; - для сильнонабухающих и на подрабатываемых территориях -- 0,8; - для слабопучинистых, слабонабухающих и I типа просадочности -- 0.	σ_{oy} , Мпа	0.5
Тип используемых труб:		
Наружный диаметр газопровода	d_e , мм	160
Стандартное размерное отношение (11 или 17,6)	SDR	11
Класс сырья: 1 - ПЭ80; 2 - ПЭ100		1

Постоянные величины

Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Величина
Коэффициент надежности по нагрузке от внутреннего давления	γ_p	1.1
Коэффициент Пуассона материала труб	μ	0.43
Минимальная длительная прочность	MRS, МПа	8
Коэффициент надежности сварных соединений	γ_c	0.95
Температура эксплуатации	t, °C	5
Температурный перепад	Δt , °C	-20
Коэффициент линейного теплового расширения материала труб	α , (°C) ⁻¹	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент надежности по нагрузке от давления грунта	γ_m	1.2
Плотность воды с учетом растворенных в ней солей	ρ_w , кН/м ³	10
Расчетная масса 1 м труб	m_q , кг	6.7
Ускорение свободного падения	g, м/с ²	9.81
Коэффициент надежности по весу трубы	γ_q	1.1
Коэффициент надежности по нагрузке от грунтовых вод	γ_w	0.8
Коэффициент надежности по нагрузке от транспорта	γ_T	1.4
Коэффициенты приведения нагрузок	β_i	0.75
Коэффициент бокового давления грунта	η	0.9
Коэффициент, учитывающий совместное действие отпора грунта и внешнего давления	ξ	1.3
Предельно допустимая величина овализации	$[\varepsilon_\phi]$, %	5

Расчет на прочность

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Расчетная формула	Величина
1	Толщина стенки трубы	s, м	$s = d_e / SDR$	0.0145
2	Кольцевое напряжение от внутреннего давления в газопроводе	σ_T , МПа	$\sigma_T = \gamma_p \cdot p(d_e - s)/(2 \cdot s)$	3.3
3	Продольные фибровые напряжения	$\sigma_{прF}$, МПа	$\sigma_{прF} = \sigma_T \cdot \mu$	1.42
4	Модуль ползучести материала труб	E, МПа		258
5	Продольные осевые напряжения от действия нагрузок силового и деформационного воздействия	$\sigma_{прNS}$, МПа	$\sigma_{прNS} = \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t $	2.55
6	Продольные фибровые напряжения от совместного действия всех нагрузок силового и деформационного воздействия	$\sigma_{прS}$, МПа	$\sigma_{прS} = \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t + E \cdot d_e / (2 \cdot \rho) + \sigma_{oy}$	3.28

Проверка прочности состоит в выполнении следующих условий:

$$\sigma_{прF} = \sigma_T \cdot \mu \leq \gamma_c \cdot 0,4 \cdot MRS$$

- выполняется

$$\sigma_{прNS} = | \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t | \leq \gamma_c \cdot 0,5 \cdot MRS$$

- выполняется

$$\sigma_{прS} = | \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t | + E \cdot d_e / (2 \cdot \rho) + \sigma_{oy} \leq 0,9 \cdot MRS$$

- выполняется

Расчет на несущую способность

Определение вспомогательных коэффициентов

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Расчетная формула	Величина
1	Модуль деформации грунта засыпки	$E_{гр}$, МПа		2.5
2	Параметр жесткости грунта	$P_{гр}$, МПа	$P_{гр} = 0,125 \cdot E_{гр}$	0.313
3	Параметр, характеризующий жесткость трубопровода	D , МПа	$D = E / [4(1 - \mu^2)] \cdot [2 \cdot s / (d_e - s)]^3$	0.63
4	Коэффициент концентрации давления грунта	K_H	Если $D \leq P_{гр}$, то $K_H = 1$, иначе $K_H = 1,5(D + P_{гр}) / (D + 2P_{гр})$	1.13
5	Критическая величина предельного внешнего радиального давления	$P_{кр}$, МПа	$P_{кр} = \min(\sqrt{D \cdot P_{гр}}; D + 1,143 \cdot P_{гр})$	0.44
6	Коэффициент, учитывающий разгрузку трубы грунтом	ψ	$\psi = \max \left[1 / (1 + 2 \cdot \frac{P_{гр}}{P_{кр}} \cdot \frac{B - d_e}{8d_e}); \frac{d_e}{B} \right]$	0.59
7	Коэффициент вертикального давления грунта	$K_{гр}$		0.68

Определение величины расчетных нагрузок

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Расчетная формула	Величина
1	Нормативная равномерно распределенная нагрузка от давления грунта	g_m , кН/м ²	$g_m = \rho_m \cdot h_m$	34.5
2	Давление грунта на единицу длины газопровода	q_m , кН/м	Если $B \cdot K_{гр} \cdot \Psi > d_e \cdot K_H$, то $q_m = \gamma_m \cdot g_m \cdot d_e \cdot K_H$, иначе $q_m = \gamma_m \cdot g_m \cdot B \cdot K_{гр} \cdot \Psi$	7.46
3	Нормативная выталкивающая сила воды, действующая на трубопровод	g_w , кН/м	$g_w = \rho_w \cdot \pi \cdot d_e^2 / 4$	0.201
4	Выталкивающая сила воды на единицу длины газопровода	q_w , кН/м	$q_w = \gamma_w \cdot g_w$	0.16
5	Нормативная равномерно распределенная нагрузка от транспорта	g_T , кН/м ²		29
6	Нагрузка от транспортных средств на уровне заложения газопровода	q_T , кН/м	$q_T = \gamma_T \cdot d_e \cdot g_T$	6.48
7	Расчетный вес трубы	g_q , кН/м ²	$g_q = m_q \cdot g$	0.066
8	Собственный вес единицы длины газопровода	q_q , кН/м	$q_q = \gamma_q \cdot g_q$	0.072
9	Полная погонная эквивалентная нагрузка	Q , кН/м	$Q = \sum \beta_i \cdot \eta \cdot q_i$	9.34

Проверка несущей способности газопровода

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Расчетная формула	Величина
1	Внешнее гидростатическое давление грунтовых вод	P_w , МПа	$P_w = \rho_w \cdot h_w$	0.010
2	Коэффициент отпора грунта	Θ	$\Theta = 1 / \left[1 + \frac{P_{gp} - P_w}{D + 0,1 \cdot P_{gp}} \right]$	0.69
3	Величина овализации трубы газопровода	ϵ_ϕ , %	$\epsilon_\phi = \xi \cdot \frac{Q}{4 \cdot d_e \cdot D} \cdot \Theta \cdot 100$	2.06

Проверка несущей способности по условию предельно допустимой величины овализации поперечного сечения трубы:

$$\epsilon_\phi = \xi \cdot \frac{Q}{4 \cdot d_e \cdot D} \cdot \Theta \cdot 100 \leq [\epsilon_\phi]$$

- выполняется

Проверка несущей способности по условию устойчивости круглой формы поперечного сечения трубы:

$$P_{кр} \geq 1,7 \cdot (Q/d_e + P_w)$$

- выполняется

Вывод: Газопровод из полиэтиленовых труб по ГОСТ Р 50838-95 требованиям по прочности и несущей способности.

ПЭ 80 160 SDR 11 соответствует

Расчет выполнен в соответствии с СП 42-103-2003.