

## РАСЧЁТ ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО ГАЗОПРОВОДА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Расчетный участок газопровода (пикет или наименование пересечения)

Участок от ПК1 до ПК +55,00

### 1. Характеристика проектируемого полиэтиленового газопровода.

Наружный диаметр газопровода	$D_e$	мм	160
Стандартный размерный коэффициент	SDR	-	11
Толщина стенки газопровода	$s$	мм	14,6
Имеющаяся начальная овализация труб	$\epsilon_{\phi}^H$	%	1,0
Марка полиэтилена	ПЭ	-	100
Вес погонного метра труб	$q_q$	кН/м	0,063
Коэффициент Пуассона	$\mu$	-	0,43
Коэффициент температурного расширения полиэтилена	$\alpha$	-	0,00022
Максимальное рабочее давление в газопроводе	$P$	МПа	0,3
Минимальный допустимый радиус упругого изгиба оси трубопровода	$\rho$	м	4,0
Тип сварки трубопровода	Сварка деталями с закладными нагревателями и сварка нагретым инструментом встык		
Ультразвуковой контроль стыковых соединений	$n$	%	100
Способ прокладки трубопровода	Открытый (траншея)		

### 2. Значения коэффициентов надёжности.

Постоянные нагрузки	Собственный вес трубопровода, арматуры и устройств	$\gamma_q$	1,0
	Вес и давление грунта (засыпки, насыпи)	$\gamma_m$	0,8
	Начальное напряжение трубопровода (упругий изгиб по заданному профилю)	$\gamma_i$	1,0
	Гидростатическое давление воды	$\gamma_{gv}$	1,0
	Выталкивающее давление воды	$\gamma_w$	1,0
	Внутреннее давление транспортируемой среды	$\gamma_p$	1,0
	Вес транспортируемой среды	$\gamma_{vc}$	1,0
	Температурный перепад стенок трубопровода	$\gamma_t$	1,0
	Нагрузки от давления на поверхности земли (дорожное покрытие, снежный покров и т.п)	$\gamma_v$	1,4
	Нагрузки от веса балластирующих устройств	$\gamma_b$	0,9
Временные и специальные нагрузки	Нагрузки от давления гусеничного транспорта	$\gamma_{tg}$	1,1
	Нагрузки от давления колёсного транспорта	$\gamma_{tk}$	1,4
	Неравномерные деформации грунта, сопровождающиеся изменением его структуры	$\gamma_z$	1,0
	Надежность сварных соединений	$\gamma_n$	1,00
	Релакционная способность полиэтиленовых труб	$\gamma_r$	0,7

Име № подл      Подпись и дата      Взам.инв №

### 3. Характеристика грунтовых условий прокладки газопровода.

Минимальная температура стенок труб газопровода при эксплуатации	$t_{\text{экс}}$	°C	5
Температура замыкания расчетной схемы газопровода	$t_{\text{зам}}$	°C	18
Глубина заложения газопровода до поверхности земли/верха дорожных покрытий	$H_o$	м	1,40
Глубина заложения газопровода до основания дорожного покрытия (при отсутствии дорожного покрытия принимается равным $H_o$ )	$H_k$	м	1,40
Грунт в основании трубопровода	Супесь		
Степень пучинистости грунта	Слабопучинистый		
Глубина промерзания грунта	$H_n$	м	1,10
Плотность грунта в зоне размещения трубопровода	$\rho_m$	кг/м <sup>3</sup>	1900
Модуль деформации грунта засыпк/верхнего свода	$E_{\text{зр}}$	МПа	4,0
Коэффициент вертикального давления грунта	$K_{\text{зр}}$	-	0,72
Ширина траншеи (при прокладке ННБ - максимальный диаметр буровой скважины)	$B$	м	0,30
Дополнительные напряжение в газопроводе при прокладке в особых природных условиях	$\sigma_{\text{оп}}$	МПа	0,0
Высота уровня грунтовых вод над верхом трубы	$H_w$	м	1,20
Плотность грунтовых вод с учётом растворённых в ней солей	$\rho_w$	кг/м <sup>3</sup>	1040

### 4. Характеристика дорожных условий.

Тип дорожного покрытия	Отсутствует		
Толщина слоя конструкции дорожного покрытия	$h_{\text{покр}}$	м	
Средний модуль деформации слоёв дорожного покрытия	$E_{\text{покр}}$	МПа	
Удельный вес дорожного покрытия	$\rho_v$	кН/м <sup>3</sup>	
Нормативная нагрузка, от равномерно распределённой нагрузки	$q_{\text{вр}}$	кН/м <sup>2</sup>	5,0
Схема нормативной нагрузки от транспортных средств	Колесная		нет

### 5. Коэффициенты приведения нагрузок.

Коэффициент приведения нагрузок от давления грунта	$\beta_1$	0,75
Коэффициент приведения нагрузок от веса газопровода	$\beta_2$	0,75
Коэффициент приведения нагрузок от выталкивающей силы воды	$\beta_3$	1,0
Коэффициент приведения нагрузок от равномерно распределённой нагрузки на поверхности земли	$\beta_4$	1,0
Коэффициент приведения нагрузок от транспортных средств	$\beta_5$	1,0
Коэффициент учитывающий распределение нагрузки и опорной реакции	$\xi$	1,3

Взам.инв №	
Подпись и дата	
Иные № подл	

## 6. Определение вспомогательных коэффициентов.

6.1. Минимальная длительная прочность труб:

$$MRS = PЭ / 10 = 100 / 10 = 10,0 \text{ МПа}$$

6.2. Коэффициент запаса прочности полиэтиленовых труб:

$$C = 2 * MRS / (SDR - 1) * P = 2 * 10 / ((11 - 1) * 0,300) = 6,7$$

6.3. Кольцевые напряжения в стенке трубы от внутреннего давления в газопроводе:

$$\sigma_t = P * (SDR - 1) / 2 = 0,300 * (11 - 1) / 2 = 1,50 \text{ МПа, принимается } 1,5 \text{ МПа}$$

6.4. Расчётный перепад температур:

$$\Delta t = t_{экс} - t_{зам} = 5,0 - 18,0 = -13,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.5. Среднее значение модуля ползучести при наличии минусовых температур эксплуатации:

$$E_{(te)} = (E_{(te)1} * |t_{экс}| + E_{(te)2} * |t_{зам}|) / |\Delta t| = (345 * 5,0 + 202 * 18,0) / 13 = \text{нет МПа}$$

6.6. Среднее значение модуля ползучести при наличии положительных температур эксплуатации:

$$E_{(te)} = (E_{(te)1} + E_{(te)2}) / 2 = (345 + 202) / 2 = 273,5 \text{ МПа}$$

6.7. Параметр, характеризующий жёсткость трубопровода:

$$D = E_{(te)} / (4 * (1 - \mu^2)) * (SDR - 1 / 2)^{-3} = 273,5 / (4 * (1 - 0,43^2)) * (11 - 1 / 2)^{-3} = 0,67 \text{ МПа}$$

6.8. Критические величины внешнего давления:

$$P_{кр1} = 0,7 * (D * E_{эп})^{0,5} = 0,7 * (0,67 * 4,00)^{0,5} = 1,15 \text{ МПа}$$

$$P_{кр2} = D + 0,143 * E_{эп} = 0,67 + 0,143 * 4,00 = 1,24 \text{ МПа}$$

Далее в расчёте принимается наименьшее значение  $P_{кр} = 1,15 \text{ МПа}$

## 7. Расчёт газопроводов на прочность.

7.1. Продольные осевые напряжения от внутреннего давления:

$$\sigma_{np} F = \sigma_t * \mu * \gamma_p = 1,500 * 0,43 * 1,00 = 0,65 \text{ МПа}$$

7.2. Продольные осевые напряжения от совместного воздействия силового и деформационного нагружения:







$$\sigma_{np} NS = | \sigma_{np} F - \alpha * E_{(te)} * \Delta t * \gamma_t | = 0,65 - 0,00022 * 273,5 * (-13,0) * 1,00 = 1,43 \text{ МПа}$$

7.3. Продольные фибровые напряжения от совместного воздействия силового и деформационного нагружения:

$$\sigma_{np} S = \sigma_{np} NS + E_{(te)} * D_e^{-3} / (2 * \rho) * \gamma_i * \gamma_z + \sigma_{оу} * \gamma_z =$$

$$1,43 + 273,5 * 160^{-3} / (2 * 4,00) * 1,00 * 0,70 + 0,00 * 1,00 = 5,26 \text{ МПа}$$

## 8. Проверка условий прочности.

I	$\sigma_{np} F \leq 0,4 * MRS * \gamma_n ;$		$0,65 \leq 4,00 = 0,4 * 10 * 1,00$		Условие прочности выполняется
II	$\sigma_{np} NS \leq 0,5 * MRS * \gamma_n ;$		$1,43 \leq 5,00 = 0,5 * 10 * 1,00$		Условие прочности выполняется
III	$\sigma_{np} S \leq 0,9 * MRS * \gamma_n ;$		$5,26 \leq 9,00 = 0,9 * 10 * 1,00$		Условие прочности выполняется

Взам. инв №

Подпись и дата

Инв № подл

### 9. Определение величин расчётных нагрузок.

9.1. Коэффициент концентрации давления грунта:

$$K_H = 1,5 * (D + 0,125 * E_{zp}) / (D + 0,25 * E_{zp}) = 1,5 * (0,67 + 0,125 * 4,00) / (0,67 + 0,25 * 4,00) = 1,05$$

9.2. Нормативная равномерно распределённая нагрузка от давления грунта на трубопровод:

$$q_m = 9,81 * \rho_m * D_e * H_z * 10^{-6} = 9,81 * 1900 * 160 * 1,40 * 10^{-6} = 4,18 \text{ кН/м}$$

9.3. Расчётная нагрузка на единицу длины газопровода от давления грунта:

$$Q_m = \gamma_m * q_m * B * K_{zp} / (D_e * 10^{-3}) = 0,8 * 4,2 * 0,30 * 0,72 / (160 * 10^{-3}) = 4,50 \text{ кН/м}$$

9.4. Расчётная нагрузка от собственного веса трубопровода:

$$Q_q = \gamma_q * q_q = 1,0 * 0,063 = 0,06 \text{ кН/м}$$

9.5. Нормативная равномерно распределённая нагрузка от выталкивающей силы грунтовых вод:

$$q_w = \rho_w * 10^{-2} * \pi * (D_e * 10^{-3})^2 / 4 = 1040 * 10^{-2} * 3,14 * (160 * 10^{-3})^2 / 4 = 0,21 \text{ кН/м}$$

9.6. Расчётная нагрузка на трубу от выталкивающей силы грунтовых вод:

$$Q_w = \gamma_w * q_w = 1,0 * 0,21 = 0,21 \text{ кН/м}$$

9.7. Нормативная нагрузка от равномерно распределённой нагрузки на поверхности грунта/дорожной одежды:

$$q_v = \rho_v * h_{\text{покр}} * K_H * (D_e * 10^{-3}) = 0,00 * 0,00 * 1,05 * (160 * 10^{-3}) = *** \text{ кН/м}$$

\*\*\*  $q_v$  принимается 5,0 кН/м при отсутствии специальных требований

9.8.1. Расчётная нагрузка от равномерно распределённой нагрузки на поверхности грунта (дорожной одежды):

$$Q_{v1} = \gamma_v * q_v = 1,4 * 0,00 = 0,00 \text{ кН/м}$$

9.8.2. Расчётная нагрузка от равномерно распределённой нагрузки на поверхности грунта (при отсутствии спецтребований):

$$Q_{v2} = \gamma_v * q_{vp} * D_e * 10^{-3} * K_H = 1,4 * 5,0 * 160 * 10^{-3} * 1,05 = 1,18 \text{ кН/м}$$

Далее в расчёте принимается значение  $Q_v = 1,18 \text{ МПа}$

9.9. Приведённая глубина заложения:

$$H_{np} = H_o + h_{\text{покр}} * ((E_{\text{покр}} / E_{zp})^{1/3} - 1) = 1,40 + 0,00 * ((0 / 4,0)^{1/3} - 1) = 1,40 \text{ м}$$

Нормативная временная нагрузка от транспорта на глубине  $H_{np} = 1,40 \text{ м}$ , составит  $0,0 \text{ кН/м}^2$

9.10. Расчётная нагрузка на газопровод от транспорта:

$$Q_t = \gamma_{tg(tk)} * q_t * D_e * 10^{-3} = 1,4 * 0,0 * 160 * 10^{-3} = 0,00 \text{ кН/м}$$

9.11. Полная погонная эквивалентная нагрузка:

$$Q = \sum \beta_i * Q_i = \beta_1 * Q_m + \beta_2 * Q_q - \beta_3 * Q_w + \beta_4 * Q_v + \beta_5 * Q_t =$$

$$Q = 0,75 * 4,50 + 0,75 * 0,06 - 0,75 * 0,21 + 1,00 * 1,18 + 1,00 * 0,00 = 4,44 \text{ кН/м}$$

9.12. Внешнее гидростатическое давление грунтовых вод на газопровод:

$$P_w = \gamma_{gv} * \rho_w * 10^{-2} * H_w = 1,00 * 1040 * 10^{-2} * 1,20 = 12,48 \text{ кН/м}^2$$

9.13. Относительная деформация вертикального диаметра трубы:

$$\epsilon_\varphi = \xi * (Q * 10^{-3} / (4 * D * D_e * 10^{-3})) * (1 + (0,125 * E_{zp} - P_w * 10^{-3}) / (D + 0,012 * E_{zp}))^{-1} * 100\% =$$

$$= 1,30 * (4,44 * 10^{-3}) / (4 * 0,67 * 160 * 10^{-3}) * (1 + (0,125 * 4,00 - 12,48 * 10^{-3}) / (0,67 + 0,012 * 4,00))^{-1} * 100\% = 0,80 \%$$

9.14. Расчётная величина внешнего давления:

$$P_{вн} = 1,7 * (Q * 10^3 / (D_e * 10^{-3}) + P_w * 10^{-3}) * 10^{-6} = 1,7 * (4,44 * 10^3 / (160 * 10^{-3}) + 12,48 * 10^3) * 10^{-6} = 0,068 \text{ МПа}$$

### 10. Проверка условий прочности и устойчивости.

$P_{вн} \leq P_{кр}$		$0,068 \text{ МПа} \leq 1,147 \text{ МПа}$		Условие устойчивости круглой формы поперечного сечения выполняется
$\epsilon_\varphi^H + \epsilon_\varphi \leq \epsilon_{\text{макс}}$		$1,801 \% \leq 5,000 \%$		Условие предельно допустимой овализации выполняется
$Q_w \leq Q_m + Q_q$		$0,209 \text{ кН/м} \leq 4,559 \text{ кН/м}$		Условие устойчивости относительно всплытия выполняется

Взам. инв №

Подпись и дата

Иное № подл