

Расчёт полиэтиленового газопровода высокого давления на прочность. Проверка условия обеспечения предельно допустимой овализации и устойчивости круглой формы поперечного сечения труб газопровода.

| | |
|----------------------|--|
| Наименование объекта | |
|----------------------|--|

1. Расчётные характеристики.

| Наименование параметра и обозначение | | Ед. изм. | Значение |
|--|----------------------|--------------------|----------|
| Диаметр газопровода (наружный) | D_e | мм | 110 |
| Стандартный размерный коэффициент полиэтиленовых труб | SDR | - | 11 |
| Толщина стенки газопровода | s | мм | 10 |
| Марка полиэтилена | ПЭ | - | 100 |
| Вес 1 погонного метра трубы | q_q | кН/м | 0,029 |
| Максимальное рабочее давление в газопроводе | P | МПа | 0,6 |
| Коэффициент Пуассона | μ | - | 0,43 |
| Коэффициент температурного расширения полиэтилена | α | (°C) ⁻¹ | 0,00022 |
| Коэффициент надёжности по сварным соединениям | γ_n | - | 1,0 |
| Коэффициент надёжности по внутреннему давлению транспортируемой среды | γ_p | - | 1,0 |
| Коэффициент надёжности по температурному перепаду стенки трубопровода | γ_t | - | 1,0 |
| Коэффициент надёжности по начальному напряжению трубопровода | γ_i | - | 1,0 |
| Коэффициент надёжности по релаксационной способности полиэтиленовых труб | γ_r | - | 0,7 |
| Коэффициент надёжности по неравномерной деформации грунта | γ_z | - | 1,0 |
| Коэффициент надёжности по весу и давлению грунта | γ_m | - | 1,2 |
| Коэффициент надёжности по собственному весу трубопровода, арматуры и обустройств | γ_q | - | 1,1 |
| Коэффициент надёжности по выталкивающей силе воды | γ_w | - | 1,0 |
| Коэффициент надёжности по нагрузке от давления на поверхности земли | γ_v | - | 1,4 |
| Коэффициент надёжности по нагрузке от давления гусеничного транспорта | γ_{tg} | - | 1,1 |
| Коэффициент надёжности по нагрузке от давления автомобильного транспорта | γ_{tk} | - | 1,4 |
| Коэффициент надёжности по нагрузке от гидростатического давления воды | γ_{gv} | - | 1,0 |
| Дополнительные напряжение в газопроводе при прокладке в особых природных условиях | σ_{oy} | МПа | 0,4 |
| Температура замыкания расчётной схемы газопровода в летний период | $t_{(зам)}$ | °C | 16 |
| Минимальная температура стенок труб при эксплуатации | $t_{(экс)}$ | °C | 5 |
| Глубина промерзания грунтов | H_n | м | 0,6 |
| Глубина заложения газопровода | $H_r(H_{np})$ | м | 2,0 |
| Грунт засыпки | Суглинки полутвёрдые | | |
| Коэффициент вертикального давления грунта засыпки | $K_{гр}$ | - | 0,75 |
| Модуль деформации грунта засыпки | $E_{гр}$ | МПа | 3,5 |
| Высота уровня грунтовых вод над верхом трубы | H_w | м | 0,5 |
| Минимальный радиус упругого изгиба оси трубопровода | ρ | м | 2,8 |
| Плотность грунта засыпки | ρ_m | кг/м ³ | 2000 |
| Ширина траншеи на уровне трубы | B | м | 0,40 |
| Плотность грунтовых вод с учётом растворённых в ней солей | ρ_w | кг/м ³ | 1040 |
| Нормативная нагрузка, от равномерно распределённой нагрузки | q_v | кН/м ² | 0,0 |
| Тип нагрузки от транспорта | НК-80 колёсная | | |
| Нормативная равномерно распределённая нагрузка от транспорта | q_t | кН/м ³ | 25,0 |
| Коэффициент приведения нагрузок от давления грунта | β_1 | - | 0,75 |
| Коэффициент приведения нагрузок от веса газопровода | β_2 | - | 0,75 |
| Коэффициент приведения нагрузок от выталкивающей силы воды | β_3 | - | 1,0 |
| Коэф. приведения нагрузок от равномерно распределённой нагрузки на поверхности земли | β_4 | - | 1,0 |
| Коэффициент приведения нагрузок от транспортных средств | β_5 | - | 1,0 |
| Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки и опорной реакции | ξ | - | 1,3 |

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

-Р.ПЭ.ПУ

| | | |
|--------|------|--------|
| Стадия | Лист | Листов |
| - | 1 | 4 |

Расчётный участок трассы от ПК0 до ПК1

GP-проект

2. Определение вспомогательных коэффициентов.

1.1. Определение минимальной длительной прочности труб, (MRS):

$$MRS = ПЭ / 10 = 100 / 10 = 10 \text{ МПа}$$

1.2. Определение коэффициента запаса прочности полиэтиленовых труб, (C):

$$C = 2 MRS / ((SDR-1) * P) = 2 * 10 / ((11 - 1) * 0,6) = 3,33$$

1.3. Определение кольцевых напряжений в стенке трубы от внутреннего давления в газопроводе, (S_t):

$$\sigma_t = P * (SDR - 1) / 2 = 0,6 * (11 - 1) / 2 = 3,00 \text{ МПа, принимается } 3,0 \text{ МПа}$$

1.4. Определение расчётного перепада температур, (Δt):

$$\Delta t = t_{\text{экс}} - t_{\text{зам}} = 5,0 - 16,0 = -11,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

1.5.1. Определение среднего значения модуля ползучести, (E_(te)) при наличии минусовых условий эксплуатации:

$$E_{(te)} = (E_{(te)1} * |t_{\text{экс}}| + E_{(te)2} * |t_{\text{зам}}|) / |\Delta t| = (265 * 5,0 + 166 * 16,0) / 11,0 = \text{нет МПа}$$

1.5.2. Определение среднего значения модуля ползучести, (E_(te)) при наличии только положительных температур эксплуатации:

$$E_{(te)} = (E_{(te)1} + E_{(te)2}) / 2 = (265 + 166) / 2 = 215,5 \text{ МПа}$$

1.6. Определение параметра, характеризующего жёсткость трубопровода (D):

$$D = \frac{E_{(te)}}{4(1-\mu^2)} * \left(\frac{SDR-1}{2}\right)^{-3} = \frac{215,5}{4(1-0,43^2)} * \left(\frac{11,0-1}{2,00}\right)^{-3} = 0,529 \text{ МПа}$$

1.7. Определение критических величин внешнего давления, (P_{кр1} и P_{кр2})

$$P_{\text{кр1}} = 0,7 * (DE_{\text{гп}})^{0,5} = 0,7 * (0,529 * 3,5)^{0,5} = 0,952 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{кр2}} = D + 0,143 * E_{\text{гп}} = 0,529 + 0,143 * 3,5 = 1,029 \text{ МПа}$$

В расчётах принимается наименьшее значение P_к = 0,952 МПа

3. Расчёт газопровода на прочность.

2.1. Расчёт продольных осевых напряжений от внутреннего давления, (σ_{npF}):

$$\sigma_{\text{npF}} = \sigma_{\tau} * \mu * \gamma_p = 3,00 * 0,43 * 1,0 = 1,29 \text{ МПа}$$

2.2. Расчёт продольных осевых напряжений от совместного воздействия силового и деформационного нагружения, (σ_{npNS}):

$$\sigma_{\text{npNS}} = |\sigma_{\text{npF}} - \alpha * E_{(te)} * \Delta t * \gamma_t| = 1,29 - 0,00022 * 215,5 * (-11,0) * 1,0 = 1,81 \text{ МПа}$$

2.3. Расчёт продольных фибровых напряжений от совместного воздействия силового и деформационного нагружения (σ_{npS}):

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{npS}} &= \sigma_{\text{npNS}} + E_{(te)} * D_e^{-3} / (2 * \rho) * \gamma_i * \gamma_r + \sigma_{\text{oy}} * \gamma_z = \\ &= 1,81 + 215,5 * 110^{-3} / (2 * 2,8) * 1,0 * 0,7 + 0,4 * 1,0 = 8,26 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Проверка условий

| | | | | | | |
|-----|---|---|------------------|--------------------|---|-------------------------------|
| I | $\sigma_{\text{npF}} \leq 0,4 * MRS * \gamma_n;$ | → | $1,29 \leq 4,00$ | $= 0,4 * 10 * 1,0$ | → | Условие прочности выполняется |
| II | $\sigma_{\text{npNS}} \leq 0,5 * MRS * \gamma_n;$ | → | $1,81 \leq 5,00$ | $= 0,5 * 10 * 1,0$ | → | Условие прочности выполняется |
| III | $\sigma_{\text{npS}} \leq 0,9 * MRS * \gamma_n;$ | → | $8,26 \leq 9,00$ | $= 0,9 * 10 * 1,0$ | → | Условие прочности выполняется |

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

-Р.ПЭ.ПУ

Лист

2

4. Определение величины расчётных нагрузок

3.1. Нормативно равномерно распределённая нагрузка от давления грунта на газопровод, (q_m):

$$q_m = 9,81 * \rho_m * D_e * H_r * 10^{-6} = 9,81 * 2000 * 110 * 2,0 * 10^{-6} = 4,32 \text{ кН/м}$$

3.2. Равнодействующая расчётной вертикальной нагрузки на единицу длины трубопровода от давления грунта, (Q_m):

$$Q_m = \gamma_m * q_m * V * K_{rp} / (D_e * 10^{-3}) = 1,2 * 4,316 * 0,4 * 0,75 / (110 * 10^{-3}) = 14,13 \text{ кН/м}$$

3.3. Расчётная нагрузка от собственного веса газопровода, (Q_q)

$$Q_q = \gamma_q * q_q = 1,1 * 0,029 = 0,03 \text{ кН/м}$$

3.4. Нормативно равномерно распределённая нагрузка от выталкивающей силы грунтовых вод, (q_w):

$$q_w = \rho_w * 10^{-2} * \pi * (D_e * 10^{-3})^2 / 4 = 1040 * 10^{-2} * 3,14 * (110 * 10^{-3})^2 / 4 = 0,10 \text{ кН/м}$$

3.5. Расчётная нагрузка на трубу газопровода от выталкивающей силы грунтовых вод, (Q_w):

$$Q_w = \gamma_w * q_w = 1,0 * 0,10 = 0,10 \text{ кН/м}$$

3.6. Коэффициент концентрации давления грунта, (K_H):

$$K_H = 1,5 * (D + 0,125 * E_{rp}) / (D + 0,25 * E_{rp}) = 1,5 * (0,53 + 0,125 * 3,5) / (0,53 + 0,25 * 3,5) = 1,03$$

3.7. Расчётная нагрузка от равномерно распределённой нагрузки на поверхности грунта, (Q_v):

$$Q_v = \gamma_v * q_v * D_e * 10^{-3} * K_H = 1,4 * 0,0 * 110 * 10^{-3} * 1,03 = 0,00 \text{ кН/м}$$

3.8. Расчётная нагрузка на газопровод от автомобильного транспорта, (Q_t):

$$Q_t = \gamma_{tk} * q_{tk} * D_e * 10^{-3} = 1,4 * 25,0 * 110 * 10^{-3} = 3,85 \text{ кН/м}$$

3.9.1. Определение полной эквивалентной нагрузки без учёта нагрузки транспортных средств, (Q_1):

$$Q = \beta_1 * Q_m + \beta_2 * Q_q + \beta_3 * Q_w + \beta_4 * Q_v = 0,75 * 14,13 + 0,75 * 0,03 + 1 * 0,10 + 1 * 0,00 = 10,72 \text{ кН/м}$$

3.9.2. Определение полной эквивалентной нагрузки без учёта равномерно распределённой нагрузки, (Q_2):

$$Q = \beta_1 * Q_m + \beta_2 * Q_q + \beta_3 * Q_w + \beta_5 * Q_t = 0,75 * 14,13 + 0,75 * 0,03 + 1 * 0,10 + 1 * 3,85 = 14,57 \text{ кН/м}$$

3.10. Расчётное внешнее гидростатическое давление грунтовых вод на газопровод, (P_w):

$$P_w = \gamma_{qv} * \rho_w * 10^{-2} * H_w = 1,0 * 1040 * 10^{-2} * 0,5 = 5,20 \text{ кН/м}$$

3.11. Относительная деформация вертикального диаметра трубы, (ϵ_φ):

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

$$1,3 * \frac{14,57}{4 * 0,529 * 110} * \left(1 + \frac{0,125 * 3,5 - 5,20 * 10^{-3}}{0,529 + 0,012 * 3,5} \right)^{-1} * 100\% = 4,632$$

3.12. Расчётная величина внешнего давления, ($P_{вн}$):

$$P_{вн} = 1,7 * (Q * 10^{-3} / (D_e * 10^{-3}) + P_w * 10^{-3}) * 10^6 = 1,7 * (14,57 * 10^{-3} / (110 * 10^{-3}) + 5,20 * 10^{-3}) * 10^6 = 0,23 \text{ МПа}$$

| Проверка условий | | | | |
|------------------------------------|---------------|------------------|---------------|--|
| $\epsilon_\varphi \leq [\epsilon]$ | \Rightarrow | $4,63 \leq 5,00$ | \Rightarrow | Условие допустимой овализации выполняется |
| $P_{вн} \leq P_{кр}$ | \Rightarrow | $0,23 \leq 0,95$ | \Rightarrow | Условие устойчивости круглой формы поперечного сечения выполняется |

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

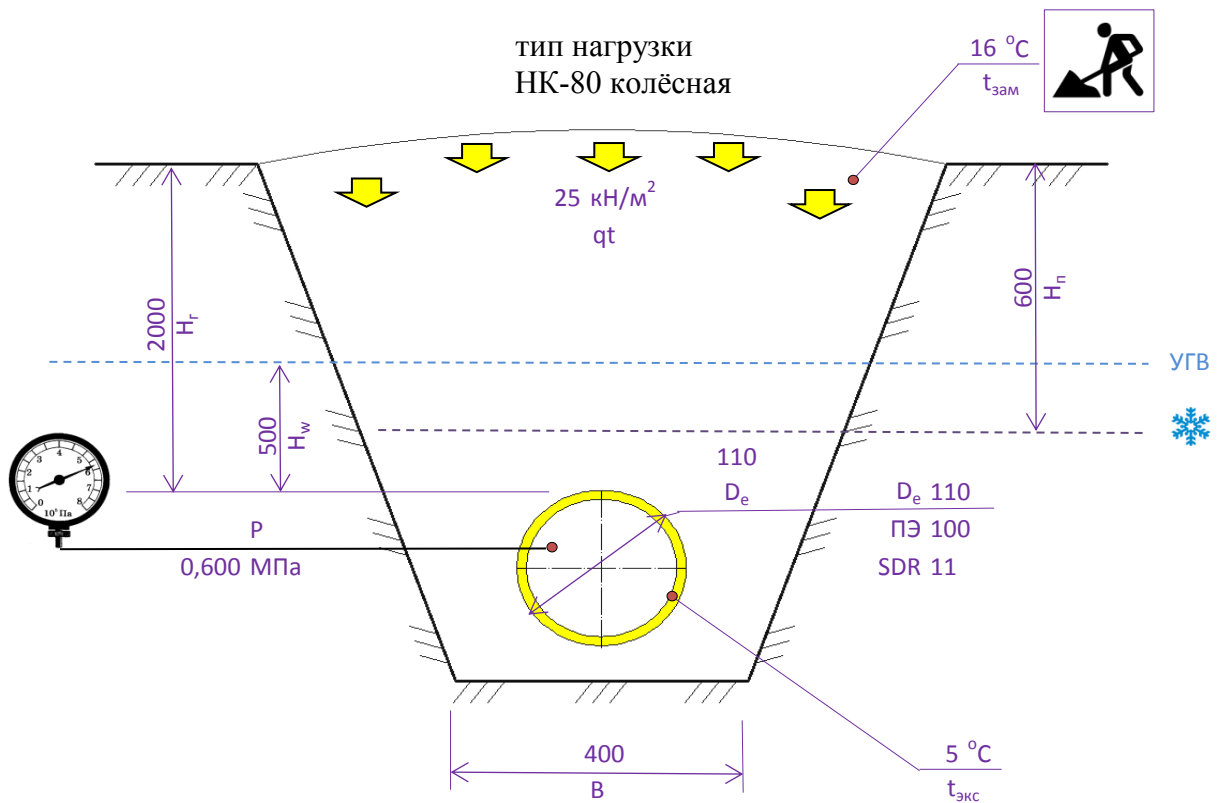
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

-Р.ПЭ.ПУ

Лист

3

5. Упрощённая графическая схема к расчёту.



Расчёт определяет значения прочности с проверкой условия обеспечения предельно допустимой овализации и устойчивости круглой формы поперечного сечения труб газопровода. Расчёт составлен на основании методики изложенной Пособием по проектированию, строительству и эксплуатации "Газопроводы из полимерных материалов" раздел 2.5 "Расчёт газопроводов на прочность и устойчивость". (А.Л Шурайц, В.Ю. Каргин, Ю.Н. Вольнов, Саратов, Издательство "Журнал "Волга-XXI век", 2007) с учётом СП 42-103-2003, СН 550-82, Пособии к СН 550-82, СП 36.13330.2012.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

-Р.ПЭ.ПУ

Лист

4