

## РАСЧЕТ ОБЩЕГО УСИЛИЯ ПРОТАСКИВАНИЯ

при строительстве подземного перехода из полиэтиленовых труб методом  
наклонно-направленного бурения ННБ

Исходные данные:

Длина подземного перехода	76 м
Диаметр скважины	140 мм
Диаметр трубопровода	110 мм
SDR	11
Диаметр буровой головки	100 мм
Диаметр буровой штанги	52 мм
Диаметр предварительного расширения	66 мм
Производительность бентонитового насоса	144 л/мин
Тип грунта	песок

Общее усилие протаскивания  $P$ :

$$P = P_p + P_{гп} + P_n^* ;$$

где  $P_p$  - лобовое сопротивление движению расширителя, Н;

$P_{гп}$  - усилие протаскивания газопровода, Н;

$P_n^*$  - усилие перемещения буровых штанг, Н.

а) для благоприятных условий:

$$P_{(a)} = P_p + P_{гп(a)} + P_{п(a)}^* ;$$

б) для неблагоприятных условий:

$$P_{(б)} = P_p + P_{гп(б)} + P_{п(б)}^* ;$$

Усилие  $P_p$  лобового сопротивления движению расширителя:

$$P_p = P_r e^{f_{рш}^* l_i / R} ;$$

где  $P_r$  - сила сопротивления бурению, Н;

$l_i$  - текущая длина бурового канала от точки забуривания до точки выхода из земли, м;

$R$  - радиус кривизны бурового канала, м;

$f_{рш}^*$  - условный коэффициент трения вращающегося расширителя о грунт, смоченный буровым раствором;

$$P_r = p\pi(d_{рш}^2 - d_{пр}^{*2})/4 = 1 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot (0.14^2 - 0.066^2)/4 = 1.2 \cdot 10^4 \text{ (Н)} ;$$

где  $d_{рш}$  - диаметр расширителя, м;

$d_{пр}^*$  - диаметр предварительного расширения, м;

$p$  - давление жидкости на выходе из сопел расширителя, Па.

$$f_{рш}^* = f_{рш} / \sqrt{[1 + (\pi d_{рш} / h)^2]} = 0.4 / \sqrt{[1 + (3.14 \cdot 0.14 / 0.01)^2]} = 0.009 .$$

где  $f_{рш}$  - коэффициент трения стального расширителя о грунт, смоченный буровым раствором;

$h$  - подача на оборот, м.

$$P_p = 1.2 \cdot 10^4 \cdot e^{0.009 l / 130} ;$$

Усилие протаскивания газопровода  $P_{гп}$ :

$$P_{гп} = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 ;$$

где  $P_2$  - сила трения от веса газопровода, Н;

$P_3$  - увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия, Н;

$P_4$  - увеличение силы трения от наличия на трубе газопровода выступов за пределы наружного диаметра, Н;

$P_5$  - дополнительные силы трения от опорных реакций, Н;

$P_6$  - усилие сопротивления перемещению газопровода в зоне заглубления в буровой канал, Н;

$P_7$  - увеличенное сопротивление перемещению при переходе от прямолинейного движения к криволинейному, Н;

$P_8$  - сила трения от веса газопровода, находящегося вне бурового канала, Н.

Так как газопровод выполнен из полиэтиленовых труб, а также не имеет значительных выступов за пределы наружного диаметра, то усилие  $P_4$  и усилие  $P_6$  близки к нулю.

Следовательно:

а) усилие протаскивания газопровода для благоприятных условий:

$$P_{гп(а)} = P_2 + P_{3(а)} + P_5 + P_8 ;$$

б) усилие протаскивания газопровода для неблагоприятных условий:

$$P_{гп(б)} = P_2 + P_{3(б)} + P_5 + P_8 ;$$

Расчет силы трения от веса газопровода  $P_2$ :

$$P_2 = qR(e^{f(l-l_i)/R} \cos[(l-l_i)/2R] - \cos[(2l-l)/2R]) ;$$

где  $q$  - погонный вес трубопровода за вычетом выталкивающей силы бурового раствора, Н/м;

$R$  - расчетный радиус кривизны бурового канала, м;

$f$  - коэффициент трения трубопровода о грунт, смоченный буровым раствором;

$l$  - длина бурового канала, м.

$$\begin{aligned} q &= \gamma_p \pi [d_n^2 - (d_n - 2\delta)^2] / 4 - \gamma_{ж} \pi d_n^2 / 4 = \\ &= 0.93 \cdot 10^4 \cdot 3.14 \cdot [0.11^2 - (0.11 - 2 \cdot 0.01)^2] / 4 - 1.2 \cdot 10^4 \cdot 3.14 \cdot 0.11^2 / 4 = \\ &= -85 \text{ (Н/м)} ; \end{aligned}$$

где  $\gamma_p$  - удельный вес материала трубопровода, Н/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{ж}$  - удельный вес бурового раствора, Н/м<sup>3</sup>;

$d_n$  - наружный диаметр трубопровода, м;

$\delta$  - толщина стенки трубопровода, м.

$$P_2 = -85 \cdot 130 \cdot (e^{0.2(76-l_i)/130} \cos[(76-l_i)/260] - \cos[(2l_i-76)/260]) ;$$

Расчет увеличения силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия  $P_3$ :

$$P_3 = q_r R (e^{f(l-l_i)/R} - 1) ;$$

где  $q_r$  - погонный вес грунта зоны естественного свода равновесия, Н/м;

а) для благоприятных условий:

$$P_{3(a)} = q_{r(a)} R (e^{f(l-l_i)/R} - 1) ;$$

$$q_{r(a)} = 0.5 k_{(a)} \pi \gamma_{r(a)}^* (1 + \mu) d_n^2 ;$$

где  $k_{(a)}$  - коэффициент высоты свода равновесия;

$\gamma_{r(a)}^*$  - объемный вес грунта с учетом разрыхления при его обрушении на трубопровод, Н/м<sup>3</sup>;

$\mu$  - коэффициент бокового давления;

$$k_{(a)} = 1 + \operatorname{tg}(\pi/4 - \rho/2) / 2 \operatorname{tg} \rho = 1 + \operatorname{tg}(3.14/4 - 0.66/2) / 2 \operatorname{tg} 0.66 = 1.315 ;$$

где  $\rho$  - угол внутреннего трения грунта, рад.

$$\begin{aligned} Y_{r(a)}^* &= Y_r / [1 + \pi(1 - d_H^2 / d_{pш}^2) / 4k_a] = \\ &= 1.7 \cdot 10^4 / [1 + 3.14 \cdot (1 - 0.11^2 / 0.14^2) / 4 \cdot 1.315] = 1.38 \cdot 10^4 \text{ (Н/м}^3\text{)} ; \\ q_{r(a)} &= 0.5 \cdot 1.315 \cdot 3.14 \cdot 1.38 \cdot 10^4 \cdot (1 + 0.37) \cdot 0.11^2 = 0.047 \cdot 10^4 \text{ (Н/м)} ; \\ P_{3(a)} &= 0.047 \cdot 10^4 \cdot 130 \cdot (e^{0.2 \cdot (76 - li) / 130} - 1) = 6.1 \cdot 10^4 \cdot (e^{0.2 \cdot (76 - li) / 130} - 1) ; \end{aligned}$$

а) для неблагоприятных условий:

$$\begin{aligned} P_{3(б)} &= q_{r(б)} R (e^{f(l-li)/R} - 1) ; \\ q_{r(б)} &= 0.5 k_{(б)} \pi Y_{r(б)}^* (1 + \mu) d_H^2 ; \\ k_{(б)} &= 1 / [\operatorname{tg}^2(\pi/4 - \rho/2) \cdot \operatorname{tg} \rho] = 1 / [\operatorname{tg}^2(3.14/4 - 0.66/2) \cdot \operatorname{tg} 0.66] = 5.38 ; \\ Y_{r(б)}^* &= Y_r / [1 + \pi(1 - d_H^2 / d_{pш}^2) / 4k_{(б)}] = \\ &= 1.7 \cdot 10^4 / [1 + 3.14 \cdot (1 - 0.11^2 / 0.14^2) / 4 \cdot 5.38] = 1.6 \cdot 10^4 \text{ (Н/м}^3\text{)} ; \\ q_{r(б)} &= 0.5 \cdot 5.38 \cdot 3.14 \cdot 1.6 \cdot 10^4 \cdot (1 + 0.37) \cdot 0.11^2 = 0.224 \cdot 10^4 \text{ (Н/м)} ; \\ P_{3(б)} &= 0.224 \cdot 10^4 \cdot 130 \cdot (e^{0.2 \cdot (76 - li) / 130} - 1) = 29.1 \cdot 10^4 \cdot (e^{0.2 \cdot (76 - li) / 130} - 1) ; \end{aligned}$$

Расчет дополнительных сил трения от опорных реакций  $P_5$ :

$$P_5 = 0.5 P_{и} (1 + e^{f(l-li)/R}) ;$$

где  $P_{и}$  - силы трения от опорных реакций, определяющих изгиб буровых штанг, Н.

$$P_{и} = f \pi E [d_H^4 - (d_H - 2\delta)^4] / 16RB ;$$

где  $B$  - плечо опорных реакций, м.

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{[(R + 0.5d_{pш})^2 - (R - 0.5d_{pш} + d_H)^2]} = \\ &= \sqrt{[(130 + 0.07)^2 - (130 - 0.07 + 0.11)^2]} = 2.828 \text{ (м)} ; \\ P_{и} &= 0.2 \cdot 3.14 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot [0.11^4 - (0.11 - 2 \cdot 0.01)^4] / 16 \cdot 130 \cdot 2.828 = 2.56 ; \end{aligned}$$

$$P_5 = 0.5 \cdot 2.56 \cdot (1 + e^{0.2(76-l)/130}) = 1.28 \cdot (1 + e^{0.2(76-l)/130}) ;$$

Расчет увеличенного сопротивления перемещению при переходе от прямолинейного движения к криволинейному  $P_7$ :

$$P_7 = \pi E_T k_t [d_H^4 - (d_H - 2\delta_H)^4] / (128R^2) =$$

$$= 3.14 \cdot 0.3 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot [0.11^4 - (0.11 - 2 \cdot 0.01)^4] / (128 \cdot 130^2) = 0 ;$$

где  $E_T$  - модуль упругости материала трубопровода, Па;

$k_t$  - количество переходов трубопровода от криволинейного движения к прямолинейному, шт.

Расчет силы трения от веса газопровода, находящегося вне бурового канала  $P_8$ :

$$P_8 = f_{гр} q_{гр} l_i = 0.3 \cdot 29.2 \cdot l_i = 8.8 \cdot l_i ;$$

где  $f_{гр}$  - коэффициент трения газопровода о грунт;

$q_{гр}$  - погонный вес 1 м трубы газопровода, Н/м.

Усилие перемещения буровых штанг  $P_n^*$ :

$$P_n^* = P_2^* + P_3^* + P_4^* + P_5^* + P_6^* + P_7^* ;$$

где  $P_2^*$  - сила трения от веса буровых штанг (в скважине), Н;

$P_3^*$  - увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия, Н;

$P_4^*$  - увеличение силы трения от наличия на буровых штангах выступов за пределы наружного диаметра, Н;

$P_5^*$  - дополнительные силы трения от опорных реакций, Н;

$P_6^*$  - сопротивление перемещению буровых штанг в зоне забуривания за счет смятия стенки скважины, Н;

$P_7^*$  - сопротивление на выходе при переходе от криволинейного движения к прямолинейному, Н.

а) для благоприятных условий:

$$P_{n(a)}^* = P_2^* + P_{3(a)}^* + P_{4(a)}^* + P_5^* + P_6^* + P_7^* ;$$

б) для неблагоприятных условий:

$$P_{п(б)}^* = P_2^* + P_{3(б)}^* + P_{4(б)}^* + P_5^* + P_6^* + P_7^* ;$$

Расчет силы трения от веса буровых штанг (в скважине)  $P_2^*$ :

$$P_2^* = q_{ш}R(e^{f_{ш}^*(l_i)/R} \cos[l_i/2R] - \cos[(l - 2l_i)/2R]) ;$$

где  $q_{ш}$  - погонный вес буровых штанг за вычетом выталкивающей силы бурового раствора, Н/м;

$f_{ш}^*$  - условный коэффициент трения вращающихся буровых штанг о грунт, смоченный буровым раствором;

$R$  - радиус кривизны бурового канала, м.

$$\begin{aligned} q_{ш} &= \gamma_{ш}\pi[d_{ш}^2 - (d_{ш} - 2\delta_{ш})^2]/4 - \gamma_{ж}\pi d_{ш}^2/4 = \\ &= 7.8 \cdot 10^4 \cdot 3.14 \cdot [0.052^2 - (0.052 - 2 \cdot 0.0065)^2]/4 - 1.2 \cdot 10^4 \cdot 3.14 \cdot 0.052^2/4 = \\ &= 47 \text{ (Н/м)} ; \end{aligned}$$

где  $\gamma_{ш}$  - удельный вес материала штанг, Н/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{ж}$  - удельный вес бурового раствора, Н/м<sup>3</sup>;

$d_{ш}$  - наружный диаметр буровых штанг, м;

$\delta_{ш}$  - толщина стенки штанги, м.

$$f_{ш}^* = f_{ш}/\sqrt{[1 + (\pi d_{ш}/h)^2]} = 0.4/\sqrt{[1 + (3.14 \cdot 0.11/0.01)^2]} = 0.012 ;$$

где  $f_{ш}$  - коэффициент трения штанг о грунт, смоченный буровым раствором;

$h$  - подача на оборот, м.

$$P_2^* = 47 \cdot 130 \cdot (e^{0.012 l_i/130} \cos[l_i/260] - \cos[(76 - 2l_i)/260]) ;$$

Расчет увеличения силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия;

$P_3^*$ :

$$P_3^* = q_r R (e^{f_{ш}^* l_i/R} - 1) ;$$

где  $q_r$  - погонный вес грунта зоны естественного свода равновесия, Н/м.

а) для благоприятных условий:

$$P_{3(a)}^* = q_{r(a)} R(e^{f_w^* li/R} - 1);$$

$$q_{r(a)} = 0.5k_{(a)} \pi \gamma_{r(a)}^* (1 + \mu) d_{ш}^2 =$$

$$= 0.5 \cdot 1.315 \cdot 3.14 \cdot 1.38 \cdot 10^4 \cdot (1 + 0.37) \cdot 0.052^2 = 0.011 \cdot 10^4 \text{ (Н/м)};$$

где  $\gamma_{r(a)}^*$  - объемный вес грунта с учетом разрыхления при его обрушении на буровые штанги, Н/м<sup>3</sup>;

где  $k$  - коэффициент высоты свода равновесия.

$$P_{3(a)}^* = 0.011 \cdot 10^4 \cdot 130 \cdot (e^{0.012 li/130} - 1) = 1.43 \cdot 10^4 \cdot (e^{0.012 li/130} - 1);$$

б) для неблагоприятных условий:

$$P_{3(б)}^* = q_{r(б)} R(e^{f_w^* li/R} - 1);$$

$$q_{r(б)} = 0.5k_{(б)} \pi \gamma_{r(б)}^* (1 + \mu) d_{ш}^2 =$$

$$= 0.5 \cdot 5.38 \cdot 3.14 \cdot 1.6 \cdot 10^4 \cdot (1 + 0.37) \cdot 0.052^2 = 0.05 \cdot 10^4 \text{ (Н/м)};$$

$$P_{3(б)}^* = 0.05 \cdot 10^4 \cdot 130 \cdot (e^{0.012 li/130} - 1) = 6.5 \cdot 10^4 \cdot (e^{0.012 li/130} - 1);$$

Расчет увеличения силы трения от наличия на буровых штангах выступов за пределы наружного диаметра  $P_4^*$ :

$$P_4^* = q_6^* R(e^{f_w^* li/R} - 1) / f_{ш};$$

где  $q_6^*$  - погонная сила сопротивления буртов земли, образованных выступами, Н/м;

где  $k$  - коэффициент высоты свода равновесия.

а) для благоприятных условий:

$$P_{4(a)}^* = q_{6(a)}^* R(e^{f_w^* li/R} - 1) / f_{ш};$$

$$q_{6(a)}^* = \pi (\Delta P_3^* - \Delta P_{ш}) (d_3^2 - d_{ш}^2) \gamma_{ж} / \gamma_{в} / (4a_{ш});$$

где  $\Delta P_3^*$  - потеря давления бурового раствора между выступом и стенкой скважины на длине выступа, Па;

$\Delta P_{ш}$  - потеря давления бурового раствора между штангами и стенкой скважины на длине выступа, Па;

$a_{\text{ш}}$  - расстояние между выступами на штанге, м;

$\gamma_{\text{в}}$  - удельный вес воды, Н/м<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned}\Delta P_3^* &= 163Q_{\text{ж}}^{1.65}L_3^*/(d_r^* - d_3^*)^{2.7} = \\ &= 163 \cdot 0.0012^{1.65} \cdot 0.4 / (0.1 - 0.066)^{2.7} = 10 \text{ (Па)} ;\end{aligned}$$

где  $Q_{\text{ж}}$  - расход бурового раствора, м<sup>3</sup>/с;

$L_3^*$  - длина выступа на штанге, м;

$d_3^*$  - наружный диаметр замка штанги, м.

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{ш}}^* &= 163Q_{\text{ж}}^{1.65}L_{\text{ш}}^*/(d_r^* - d_{\text{ш}}^*)^{2.7} = \\ &= 163 \cdot 0.0012^{1.65} \cdot 0.4 / (0.1 - 0.052)^{2.7} = 3.6 \text{ (Па)} ;\end{aligned}$$

$$q_{6(a)}^* = 3.14 \cdot (10 - 3.6)(0.066^2 - 0.052^2)1.2 / (4 \cdot 3) = 0.0033 \text{ (Н/м)} ;$$

$$P_{4(a)}^* = 0.0033 \cdot 130 \cdot (e^{0.012li/130} - 1) / 0.4 = 1.0725 \cdot (e^{0.012li/130} - 1) ;$$

б) для неблагоприятных условий:

$$P_{4(б)}^* = q_{6(б)}^* R (e^{f_{\text{ш}}^* li/R} - 1) / f_{\text{ш}} ;$$

$$q_{6(б)}^* = \pi(d_3^{*2} - d_{\text{ш}}^2) \delta_{\text{упл}} / (n_0 + \Delta n) / (4a_{\text{ш}}) ;$$

где  $\delta_{\text{упл}}$  - напряжение уплотнения грунта, Па;

$n_0$  - пористость грунта в естественном залегании;

$\Delta n$  - приращение пористости грунта при обрушении грунта зоны свода равновесия.

$$\Delta n = \pi(1 - d_{\text{ш}}^2/d_r^2) / (4K) = 3.14 \cdot (1 - 0.052^2/0.1^2) / (4 \cdot 5.38) = 0.11 ;$$

$$A_r = \pi(d_3^{*2} - d_{\text{ш}}^2) = 3.14 \cdot (0.066^2 - 0.052^2) / 4 = 0.0013 \text{ (м}^2\text{)} ;$$

где  $A_r$  - площадь вертикального сечения бурта, м<sup>2</sup>.

$$\delta_{\text{упл}} = 5.2 \cdot (1 - 1/e^{20A_r}) \cdot 10^6 = 5.2 \cdot (1 - 1/e^{20 \cdot 0.0013}) \cdot 10^6 = 0.13 \cdot 10^6 \text{ (Па)} ;$$

$$q_{6(6)}^* = 3.14 \cdot (0.066^2 - 0.052^2) \cdot 0.13 \cdot 10^6 / (0.35 + 0.11) / (4 \cdot 3) = 122 \text{ (Н/м)} ;$$

$$P_{4(6)}^* = 122 \cdot 130 \cdot (e^{0.012li/130} - 1) / 0.4 = 39650 \cdot (e^{0.012li/130} - 1) ;$$

Расчет дополнительных сил трения от опорных реакций  $P_5^*$ :

$$P_5^* = 0.5P_{и}^* (1 + e^{f_{ш}^* li/R}) ;$$

где  $P_{и}^*$  - силы трения от опорных реакций, определяющих изгиб буровых штанг, Н.

$$P_{и}^* = f_{ш} \pi E_{ш} [d_{ш}^4 - (d_{ш} - 2\delta_{ш})^4] / 16RB_{ш} ;$$

где  $E_{ш}$  - модуль упругости материала штанг, Па;

$B_{ш}$  - плечо опорных реакций буровых штанг, м.

$$\begin{aligned} B_{ш} &= \sqrt{[(R + 0.5d_r)^2 - (R - 0.5d_r + d_{ш})^2]} = \\ &= \sqrt{[(130 + 0.05)^2 - (130 - 0.05 + 0.052)^2]} = 3.6 \text{ (м)} ; \end{aligned}$$

$$P_{и}^* = 0.4 \cdot 3.14 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot [0.052^4 - (0.052 - 2 \cdot 0.0065)^4] / 16 \cdot 130 \cdot 3.6 = 176 ;$$

$$P_5^* = 0.5 \cdot 176 \cdot (1 + e^{0.012li/130}) = 88 \cdot (1 + e^{0.012li/130}) ;$$

Расчет сопротивления перемещению буровых штанг в зоне забуривания за счет смятия стенки скважины  $P_6^*$ :

$$P_6^* = P_c^* e^{f_{ш}^* li/R} ;$$

где  $P_c^*$  - сила смятия стенки скважины при забуривании, Н.

$$\begin{aligned} P_c^* &= \delta_{упл} d_{ш} (R - 0.5\sqrt{[R^2 - B_{ш}^2]} - R^2 \arcsin[B_{ш}/R] / (2B_{ш})) / (n_0 + \Delta n) = ; \\ &= 0.13 \cdot 10^6 \cdot 0.052 \cdot (130 - 0.5\sqrt{[130^2 - 3.6^2]} - \\ &- 130^2 \cdot \arcsin[3.6/130] / (2 \cdot 3.6)) / (0.35 + 0.11) = 244 ; \end{aligned}$$

$$P_6^* = 244 \cdot e^{0.012li/130} ;$$

Расчет сопротивления на выходе и при переходе от криволинейного движения к прямолинейному  $P_7^*$ :

$$P_7^* = \pi E_{ш} k_r [d_{ш}^4 - (d_{ш} - 2\delta_{ш})^4] / (128R^2) =$$

$$= 3.14 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 1 \cdot [0.052^4 - (0.052 - 2 \cdot 0.0065)^4] / (128 \cdot 130^2) = 1.5 ;$$

где  $k_r$  - количество переходов штанг от криволинейного движения к прямолинейному, шт.

Данные расчетов приведены в таблице:

li, м	P(a), Н	P(б), Н	Pp, Н	Pгп(a), Н	Pгп(б), Н	Pп(a)*, Н	Pп(б)*, Н
76	12830	13466	12063	200	200	567	1203
73	13081	14755	12061	477	1541	543	1153
70	13328	16046	12058	750	2883	520	1105
67	13577	17345	12056	1021	4229	500	1060
64	13823	18646	12053	1288	5576	482	1017
61	14068	19950	12051	1551	6923	466	976
58	14314	21260	12048	1813	8274	453	938
55	14559	22575	12046	2071	9627	442	902
52	14803	23893	12043	2326	10981	434	869
49	15047	25217	12041	2577	12337	429	839
46	15290	26544	12038	2826	13695	426	811
43	15533	27877	12036	3072	15056	425	785
40	15773	29211	12033	3313	16417	427	761
37	16015	30553	12031	3553	17782	431	740
34	16256	31899	12028	3790	19149	438	722
31	16497	33250	12026	4024	20518	447	706
28	16735	34604	12023	4254	21889	458	692
25	16974	35964	12021	4481	23262	472	681
22	17212	37328	12018	4706	24638	488	672
19	17450	38698	12016	4927	26016	507	666
16	17688	40073	12013	5147	27398	528	662
13	17924	41452	12011	5362	28781	551	660
10	18162	42837	12008	5577	30168	577	661
7	18399	44227	12006	5787	31556	606	665
4	18634	45621	12003	5995	32948	636	670
1	18871	47022	12001	6201	34343	669	678

0	18950	47490	12000	6269	34809	681	681
---	-------	-------	-------	------	-------	-----	-----

**Таким образом, при благоприятных условиях:**

- максимальное расчетное общее усилие протаскивания - 19 кН ;
- максимальное усилие, приложенное к трубопроводу - 6.3 кН ;
- максимальное растягивающее напряжение в стенке трубы - 2 МПа ;

**При неблагоприятных условиях:**

(в условиях полного обвала грунта по длине бурового канала и фильтрации бурового раствора в грунт)

- максимальное расчетное общее усилие протаскивания - 47.5 кН
- максимальное усилие, приложенное к трубопроводу - 34.8 кН ;
- максимальное растягивающее напряжение в стенке трубы - 11.1 МПа .

**Для успешной прокладки трубопровода в принятых условиях необходимо предусмотреть технологические приемы, обеспечивающие стабильность и прочность стенок бурового канала, предупреждающие обвал грунта и фильтрацию бурового раствора в грунт, к которым относятся:**

- применение качественного бурового раствора;
- правильный выбор буровой головки, ножа и расширителя;
- технология производства работ.

Нормативные ссылки:

СП 42-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.