



Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром проектирование»

Заказчик – ООО «Газпром межрегионгаз»

**МЕЖПОСЕЛКОВЫЙ ГАЗОПРОВОД К ДЕР. МИЛЁНКИ
ДЗЕРЖИНСКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 6. Иная документация в случаях, предусмотренных
законодательными и иными нормативными правовыми
актами Российской Федерации**

Часть 4. Расчетная часть

3058.085.П.0/0.0002- РЧ

Том 6.4

2023



Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром проектирование»

Заказчик – ООО «Газпром газификация»

**МЕЖПОСЕЛКОВЫЙ ГАЗОПРОВОД К ДЕР. МИЛЁНКИ
ДЗЕРЖИНСКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 6. Иная документация в случаях, предусмотренных
законодательными и иными нормативными правовыми
актами Российской Федерации**

Часть 4. Расчетная часть

3058.085.П.0/0.0002- РЧ

Том 6.4

Заместитель директора
филиала по производству

Главный инженер проекта



Ю.М. Комиссаров

Г.С. Достанова

| | |
|----------------|--|
| Взам. инв. № | |
| Подпись и дата | |
| Инв. № подл. | |

Список исполнителей***Отдел проектирования линейной части газопроводов:***

| | | | |
|------------------------|---|------------|----------------|
| Начальник отдела |  | 04.12.2023 | П.С. Бабусенко |
| Зам. начальника отдела |  | 04.12.2023 | О.К. Жидкова |
| Главный специалист |  | 04.12.2023 | В.Ю. Чечелев |

Нормоконтроль

| | | | |
|--------------------|---|------------|---------------|
| Главный специалист |  | 04.12.2023 | А.Н. Петухова |
|--------------------|---|------------|---------------|

Бюро ГИП:

| | | | |
|-----|---|------------|---------------|
| ГИП |  | 04.12.2023 | Г.С.Достанова |
|-----|---|------------|---------------|

Содержание

| | |
|---|----|
| 1 Расчет параметров при строительстве газопровода методом горизонтально-наклонно направленного бурения..... | 3 |
| 2 Расчет устойчивости положения трубопровода, прокладываемого на обводненных участках трассы, против всплытия..... | 16 |
| 3 Расчет на прочность, устойчивость и несущую способность полиэтиленового газопровода Ø110x10,0..... | 18 |
| 4 Расчет пропускной способности надземных газопроводов с учетом максимально допустимого уровня шума, создаваемого движением газа..... | 20 |
| 5 Расчет расхода газа на продувку газопровода и настройку ГРП..... | 21 |
| Приложение А Схема гидравлического расчета..... | 23 |

**1 Расчет параметров при строительстве газопровода горизонтально-наклонно-направленного бурения Пересечение газопроводом ГЗ ПЭ100 ГАЗ SDR11 Ø110x10,0x0,9
"Протэкт" р.Гражданка методом ГНБ (ПК46+30,0-П47+65,0)**

Ввод исходных данных

| Наименование параметра | | Обозначение, ед. измерения | Величина |
|--|--|----------------------------|---------------------------------------|
| Тип грунта: 1 - песок; 2 - суглинок; 3 - глина; 4 - известняк; 5 - песчаник; 6 - торф | | ИГЭ-3 | 2 |
| Естественная пористость грунта | | n_0 | 0,935 |
| Коэффициент сцепления грунта | | $C_0, \text{Н/м}^2$ | 11000 |
| Угол внутреннего трения грунта | | $\rho, \text{рад}$ | 0,349 |
| Коэффициент бокового давления | | μ | 0,37 |
| Материал трубы: 1 - полиэтилен ПЭ80; 2 - полиэтилен ПЭ100; 3 - сталь | | | 2 |
| Коэффициенты трения | газопровода о грунт | $f_{гп}$ | 0,4 |
| | газопровода о грунт, смоченный буровым раствором | f | 0,1 |
| | расширителя о грунт, смоченный буровым раствором | $f_{рш}$ | 0,13 |
| | штанг о грунт, смоченный буровым раствором | $f_{ш}$ | 0,13 |
| Удельный вес | материала штанг | $\gamma_{ш}, \text{Н/м}^3$ | 78000 |
| | материала трубы | $\gamma_{т}, \text{Н/м}^3$ | 9300 |
| | грунта | $\gamma_{г}, \text{Н/м}^3$ | 17100 |
| | бурового раствора | $\gamma_{ж}, \text{Н/м}^3$ | 12000 |
| | воды | $\gamma_{в}, \text{Н/м}^3$ | 10000 |
| Наружный диаметр газопровода | | $d_n, \text{м}$ | 0,11 |
| Толщина стенки газопровода | | $\delta, \text{м}$ | 0,01 |
| Модуль упругости материала газопровода | | $E, \text{Н/м}^2$ | $300 \cdot 10^6$ |
| Модуль упругости материала штанг | | $E_{ш}, \text{Н/м}^2$ | $2,1 \cdot 10^{11}$ |

| Наименование параметра | Обозначение, ед. измерения | Величина |
|---|-----------------------------|-----------|
| Угол забуривания | α | 13 ° 41 ' |
| Давление бурового раствора на выходе из сопел расширителя | p , Н/м ² | 1000000 |
| Расход бурового раствора | $Q_{ж}$, м ³ /с | 0,0012 |
| Диаметр буровой головки | $d_{г}$, м | 0,1 |
| Диаметр расширителя | $d_{рш}$, м | 0,15 |
| Ширина резца | m , м | 0,01 |
| Глубина врезания (вылет резца) | $e_{р}$, м | 0,01 |
| Диаметр штанги | $d_{ш}$, м | 0,052 |
| Диаметр замка штанги | $d_{з}^*$, м | 0,066 |
| Длина замка на штанге | $L_{з}^*$, м | 0,4 |
| Длина буровой штанги | $l_{ш}$, м | 3 |
| Толщина стенки штанги | $\delta_{ш}$, м | 0,0065 |
| Количество прямолинейных и криволинейных участков пилотной скважины | | 7 |

Координаты точек перелома пилотной скважины

| № точки | 1 (точка входа бура в землю) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 (точка выхода бура из земли) |
|---------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------------|
| Отметка земли фактическая | 144,44 | 142,33 | 140,75 | 136,91 | 137,57 | 141,25 | 143,97 | 144,77 |
| Глубина траншеи | 1,48 | 2,17 | 3,68 | 2,88 | 2,43 | 3,22 | 2,07 | 1,55 |

Длины участков пилотной скважины в плане

| № участка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|------|------|------|------|------|----|---|
| Длина | 11,5 | 18,5 | 29,2 | 27,9 | 22,9 | 20 | 5 |

Расчет бурового канала

Длина бурового канала составляет:

| | | |
|-----------------------|--------|---|
| - фактическая | 148,87 | м |
| - принимаем в проекте | 149,00 | м |

Длина газопровода составляет:

| | |
|-----------------------|--------|
| - фактическая | 136,92 |
| - принимаем в проекте | 137,00 |

| 0 | | | | |
|----|--------|-----------|--------|--------|
| 2 | 6,00 | - 13° 41' | -0,237 | -1,48 |
| 3 | 9,00 | - 13° 41' | -0,237 | -2,19 |
| 4 | 12,00 | - 13° 41' | -0,237 | -2,90 |
| 5 | 15,00 | - 13° 41' | -0,237 | -3,61 |
| 6 | 18,00 | - 13° 41' | -0,237 | -4,32 |
| 7 | 21,00 | - 13° 41' | -0,237 | -4,28 |
| 8 | 24,00 | - 12° 34' | -0,218 | -4,93 |
| 9 | 27,00 | - 11° 28' | -0,199 | -5,53 |
| 10 | 30,00 | - 10° 22' | -0,180 | -6,07 |
| 11 | 33,00 | - 9° 15' | -0,161 | -6,55 |
| 12 | 36,00 | - 8° 9' | -0,142 | -6,98 |
| 13 | 39,00 | - 7° 2' | -0,123 | -7,37 |
| 14 | 42,00 | - 5° 56' | -0,104 | -7,68 |
| 15 | 45,00 | - 5° 56' | -0,104 | -7,99 |
| 16 | 48,00 | - 5° 56' | -0,104 | -8,30 |
| 17 | 51,00 | - 5° 56' | -0,104 | -8,61 |
| 18 | 54,00 | - 5° 56' | -0,104 | -8,92 |
| 19 | 57,00 | - 5° 56' | -0,104 | -9,23 |
| 20 | 60,00 | - 5° 56' | -0,104 | -9,54 |
| 21 | 63,00 | - 5° 56' | -0,104 | -9,86 |
| 22 | 66,00 | - 5° 56' | -0,104 | -10,17 |
| 23 | 69,00 | - 5° 56' | -0,104 | -10,41 |
| 24 | 72,00 | + 0° 43' | 0,013 | -10,37 |
| 25 | 75,00 | + 1° 26' | 0,025 | -10,30 |
| 26 | 78,00 | + 2° 9' | 0,038 | -10,18 |
| 27 | 81,00 | + 2° 52' | 0,050 | -10,03 |
| 28 | 84,00 | + 3° 35' | 0,063 | -9,85 |
| 29 | 87,00 | + 4° 18' | 0,075 | -9,62 |
| 30 | 90,00 | + 5° 2' | 0,088 | -9,36 |
| 31 | 93,00 | + 5° 45' | 0,100 | -9,31 |
| 32 | 96,00 | + 6° 28' | 0,113 | -9,30 |
| 33 | 99,00 | + 7° 11' | 0,125 | -8,92 |
| 34 | 102,00 | + 7° 11' | 0,125 | -8,55 |
| 35 | 105,00 | + 7° 11' | 0,125 | -8,17 |
| 36 | 108,00 | + 7° 11' | 0,125 | -7,80 |
| 37 | 111,00 | + 7° 11' | 0,125 | -7,42 |
| 38 | 114,00 | + 7° 11' | 0,125 | -7,05 |
| 39 | 117,00 | + 7° 11' | 0,125 | -6,67 |
| 40 | 120,00 | + 7° 11' | 0,125 | -6,41 |
| 41 | 123,00 | + 8° 16' | 0,144 | -5,98 |
| 42 | 126,00 | + 9° 21' | 0,163 | -5,49 |
| 43 | 129,00 | + 10° 26' | 0,181 | -4,95 |
| 44 | 132,00 | + 11° 31' | 0,200 | -4,35 |
| 45 | 135,00 | + 12° 37' | 0,218 | -3,69 |

| | | | | |
|----|--------|-----------|--------|-------|
| 2 | 6,00 | - 13° 41' | -0,237 | -1,48 |
| 46 | 138,00 | + 13° 42' | 0,237 | -2,54 |
| 47 | 141,00 | + 14° 47' | 0,255 | -1,77 |
| 48 | 144,00 | + 14° 47' | 0,255 | -1,22 |
| 49 | 147,00 | + 14° 47' | 0,255 | -0,45 |
| 50 | 148,87 | + 14° 47' | 0,255 | 0,33 |

Расчет общего усилия протаскивания и крутящего момента

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Текущая длина, м | 0,00 | 14,89 | 29,77 | 44,66 | 59,55 | 74,44 | 89,32 | 104,21 | 119,10 | 133,99 | 148,87 |
| Сила, Н | | | | | | | | | | | |

Расчет усилия перемещения буровых штанг

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Сила трения от веса буровых штанг (в буровом канале) | | P_2^* | 535,67 | 343,19 | 181,77 | 51,99 | -45,72 | -111,10 | -144,04 | -144,57 | -112,88 | -49,33 | 45,59 |
| Увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия (по М.М. Протоdjяконову) | для благоприятных условий | $P_{3(a)}^*$ | 0,00 | 15,36 | 30,72 | 46,09 | 61,47 | 76,85 | 92,24 | 107,64 | 123,04 | 138,45 | 153,87 |
| | для неблагоприятных условий | $P_{3(б)}^*$ | 0,00 | 23,53 | 47,06 | 70,61 | 94,17 | 117,74 | 141,31 | 164,90 | 188,50 | 212,10 | 235,72 |
| Увеличение силы трения от наличия выступов за пределы наружного диаметра | для благоприятных условий | $P_{4(a)}^*$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | для неблагоприятных условий | $P_{4(б)}^*$ | 0,00 | 39,53 | 79,07 | 118,64 | 158,22 | 197,81 | 237,42 | 277,05 | 316,70 | 356,36 | 396,04 |
| Дополнительные силы трения от опорных реакций | | P_5^* | 23,10 | 23,10 | 23,11 | 23,11 | 23,12 | 23,12 | 23,13 | 23,13 | 23,14 | 23,14 | 23,15 |
| Сопrotивление перемещению буровых штанг в зоне забуривания за счет смятия стенки скважины | | P_6^* | 97,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сопrotивление на выходе при переходе от криволинейного движения к прямолинейному | | P_7^* | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,44 | 0,44 | 0,44 |
| Усилие перемещения буровых штанг | для благоприятных условий | $P_{п(a)}^*$ | 656,04 | 381,65 | 235,60 | 121,21 | 38,88 | -11,12 | -28,65 | -13,78 | 33,76 | 112,73 | 223,07 |
| | для неблагоприятных условий | $P_{п(б)}^*$ | 656,04 | 429,35 | 331,02 | 264,36 | 229,78 | 227,57 | 257,83 | 320,52 | 415,89 | 542,72 | 700,94 |

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Текущая длина, м | 0,00 | 14,89 | 29,77 | 44,66 | 59,55 | 74,44 | 89,32 | 104,21 | 119,10 | 133,99 | 148,87 |
| Сила, Н | | | | | | | | | | | |

Расчет усилия протаскивания газопровода

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Сила трения от веса газопровода (в буровом канале) | P_2 | -1241,01 | -960,06 | -733,42 | -562,32 | -447,76 | -390,42 | -390,73 | -448,83 | -564,56 | -737,52 | -967,01 | |
| Увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия | для благоприятных условий | $P_{3(a)}$ | 11216,01 | 10062,99 | 8917,06 | 7778,19 | 6646,33 | 5521,44 | 4403,47 | 3292,39 | 2188,14 | 1090,69 | 0,00 |
| | для неблагоприятных условий | $P_{3(б)}$ | 16846,04 | 15114,24 | 13393,10 | 11682,56 | 9982,55 | 8293,00 | 6613,85 | 4945,04 | 3286,51 | 1638,18 | 0,00 |
| Дополнительные силы трения от опорных реакций | P_5 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | |
| Увеличенное сопротивление перемещению при переходе от прямолинейного движения к криволинейному | P_7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Сила трения от веса газопровода, находящегося вне бурового канала | P_8 | 0,00 | 173,99 | 347,97 | 521,96 | 695,94 | 869,93 | 1043,91 | 1217,90 | 1391,88 | 1565,87 | 1739,86 | |
| Усилие протаскивания газопровода | для благоприятных условий | $P_{гп(a)}$ | 9975,45 | 9277,35 | 8532,06 | 7738,26 | 6894,95 | 6001,38 | 5057,09 | 4061,89 | 3015,90 | 1919,48 | 773,29 |
| | для неблагоприятных условий | $P_{гп(б)}$ | 15605,48 | 14328,61 | 13008,10 | 11642,63 | 10231,17 | 8772,94 | 7267,47 | 5714,55 | 4114,27 | 2466,97 | 773,29 |

Расчет общего усилия протаскивания

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Лобовое сопротивление движению расширителя | P_p | 2,23 | 2,23 | 2,23 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 | 2,24 | 2,24 | 2,24 | |
| Общее усилие протаскивания | для благоприятных условий | $P_{(a)}$ | 10633,72 | 9661,24 | 8769,89 | 7861,70 | 6936,06 | 5992,50 | 5030,67 | 4050,35 | 3051,90 | 2034,44 | 998,59 |
| | для неблагоприятных условий | $P_{(б)}$ | 16263,75 | 14760,19 | 13341,35 | 11909,22 | 10463,18 | 9002,74 | 7527,53 | 6037,30 | 4532,40 | 3011,92 | 1476,46 |

Величина расчетного усилия протаскивания газопровода для благоприятных условий не должна превышать максимально допустимого усилия протаскивания газопровода $R_{гп} = 39000 \text{ Н}$

Максимальное расчетное усилие протаскивания газопровода для благоприятных условий: $9975,45 \text{ Н} = 1016,865 \text{ кг}$,
 что значительно меньше допустимого усилия протаскивания газопровода $R_{гп}: 9975,45 < 39000$

Максимальное расчетное усилие протаскивания газопровода для неблагоприятных условий: $15605,48 \text{ Н} = 1590,7722 \text{ кг}$

Расчет напряжений в газопроводе для неблагоприятных условий

Радиус кривизны пилотной скважины, $R = 241 \text{ м}$

При изгибе оси газопровода соответствующие максимальные напряжения σ_u на наружной поверхности определяются по формуле:

$$\sigma_u = \frac{E \cdot d_u}{2R} = 0,07 \text{ МПа.}$$

Максимальные растягивающие напряжения для газопровода σ_p при максимальном расчетном усилии протаскивания газопровода для неблагоприятных условий:

$$\sigma_p = \frac{T}{S} = 4,97 \text{ МПа,}$$

где $S = 0,0031 \text{ м}^2$ - площадь сечения газопровода.

Максимальное действующее напряжение определяем по формуле: $\sigma_{p.max} = \sigma_u + \sigma_p = 5,04 \text{ МПа.}$

Максимальные напряжения не превышают предела текучести:
 $\sigma_{p.max} < \sigma_{тек}$
 $5,04 < 25$

Коэффициент запаса по пределу текучести: $k_{тек} = \sigma_{тек} / \sigma_{p.max} = 4,96$

Данные для выбора бурильной установки

Максимальное расчетное общее усилие протаскивания для благоприятных условий: $10633,72 \text{ Н} = 1083,9672 \text{ кг}$

Максимальное расчетное общее усилие протаскивания для неблагоприятных условий: $16263,75 \text{ Н} = 1657,8745 \text{ кг}$

Максимальный крутящий момент: $385,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Расстояние по горизонтали от точки входа буровой головки в землю до места стыковки труб в технологическом котловане при угле забуривания $\alpha = 13^\circ 41'$ составляет $L_{svx} = 6,1 \text{ м}$

Расстояние по горизонтали от места стыковки труб до точки выхода буровой головки из земли в технологическом котловане при угле выхода бура $14^{\circ}47'$ составляет $L_{свых} = 5,9$, м

В соответствии с п. 4.8.8 ВН Газпром "Строительство подводных переходов газопроводов способом направленного бурения" для выбора буровой установки величина тягового усилия принимается с коэффициентом 1,5, т.е. не менее

$$10633,72 * 1,5 = 15950,58 \quad H = 1625,9509 \text{ кг}$$

Для успешной прокладки газопровода 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:

- а) применение качественного бурового раствора, соответствие смазочных добавок СТО Газпром РД 2.1-146-2005 «Смазочные компоненты буровых растворов. Технические требования»;
- б) правильный выбор буровой головки, ножа и расширителя;
- в) технология производства работ.

Расчет выполнен в соответствии с СП 42-101-2003 и на основании письма разработчика СП 42-101-2003 ОИ "Омскгазтехнология" №02/187 от 18.03.2008

Выполнил:



Чечелев В.Ю.

Проверил:



Леонова В.М.

Расчет на соответствие требованиям по прочности и несущей способности

Пересечение газопроводом I 3 ПЭ100 I АЗ SDR11 $\varnothing 110 \times 10,0 \times 0,9$
 "Протэкт" в.Гражданка методом ГНБ (ПК46+30.0-П47+65.0)

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 | ИГЭ-3 | 5 |
| Рабочее давление | p , МПа | 0,6 |
| Плотность грунта | ρ_m , кН/м ³ | 17,1 |
| Диаметр прокола | B , м | 0,15 |
| Радиус упругого изгиба газопровода | ρ , м | 241 |
| Расстояние от верха трубы до поверхности земли | h_m , м | 4,18 |
| Высота столба грунтовых вод над верхней образующей газопровода | h_w , м | 2,86 |
| 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 |
| Модуль деформации грунта засыпки | $E_{гр}$, МПа | 7,60 |
| Тип используемых труб: | | |
| Наружный диаметр газопровода | d_e , мм | 110 |
| Стандартное размерное отношение (11 или 17,6) | SDR | 11 |
| Класс сырья: 1 - ПЭ80; 2 - ПЭ100 | | 2 |

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 | 10 |
| 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 по ГОСТ Р 58121.2-2018 | m_q , кг | 3,14 |
| 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 | $s = d_e / SDR$ | 0,0100 |
| 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 | $\sigma_{прS} = \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t + E \cdot d_e / (2 \cdot \rho) + \sigma_{oy}$ | 3,11 |

Проверка прочности состоит в выполнении следующих условий:

| | | |
|---|---------------------|-------------|
| $\sigma_{прF} = \sigma_T \cdot \mu \leq \gamma_c \cdot 0,4 \cdot MRS$ | - выполняется, т.к. | 1,42 < 3,8 |
| $\sigma_{прNS} = \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t \leq \gamma_c \cdot 0,5 \cdot MRS$ | - выполняется, т.к. | 2,55 < 4,75 |
| $\sigma_{прS} = \sigma_T \cdot \mu - \alpha \cdot E \cdot \Delta t + E \cdot d_e / (2 \cdot \rho) + \sigma_{oy} \leq 0,9 \cdot MRS$ | - выполняется, т.к. | 3,11 < 9 |

Расчет на несущую способность

Определение вспомогательных коэффициентов

| № п/п | Наименование параметра | Обозначение, ед. измерения | Расчетная формула | Величина |
|-------|--|----------------------------|--|--------------|
| 1 | Параметр жесткости грунта | $P_{гр}$, МПа | $P_{гр} = 0,125 \cdot E_{гр}$ | 0,950 |
| 2 | Параметр, характеризующий жесткость трубопровода | D , МПа | $D = E / [4(1 - \mu^2)] \cdot [2 \cdot s / (d_e - s)]^3$ | 0,63 |
| 3 | Коэффициент концентрации давления грунта | K_H | Если $D \leq P_{гр}$, то $K_H = 1$, иначе $K_H = 1,5(D + P_{гр}) / (D + 2P_{гр})$ | 1,00 |
| 4 | Критическая величина предельного внешнего радиального давления | $P_{кр}$, МПа | $P_{кр} = \min(\sqrt{D \cdot P_{гр}}; D + 1,143 \cdot P_{гр})$ | 0,78 |
| 5 | Коэффициент, учитывающий разгрузку трубы грунтом | ψ | $\psi = \max \left[1 / (1 + 2 \cdot \frac{P_{гр}}{P_{кр}} \cdot \frac{B - d_e}{8d_e}); \frac{d_e}{B} \right]$ | 0,89 |
| 6 | Коэффициент вертикального давления грунта | $K_{гр}$ | | 0,65 |

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 | $g_m = \rho_m \cdot h_m$ | 71,5 |
| 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 $q_m = \gamma_m \cdot g_m \cdot B \cdot K_{гр} \cdot \Psi$ | 7,71 |
| 3 | Нормативная выталкивающая сила воды, действующая на трубопровод | g_w , кН/м | $g_w = \rho_w \cdot \pi \cdot d_e^2 / 4$ | 0,095 |
| 4 | Выталкивающая сила воды на единицу длины газопровода | q_w , кН/м | $q_w = \gamma_w \cdot g_w$ | 0,08 |
| 5 | Нормативная равномерно распределенная нагрузка от транспорта | g_T , кН/м ² | | 0 |
| 6 | Нагрузка от транспортных средств на уровне заложения газопровода | q_T , кН/м | $q_T = \gamma_T \cdot d_e \cdot g_T$ | 0,00 |
| 7 | Расчетный вес трубы | g_q , кН/м ² | $g_q = m_q \cdot g$ | 0,031 |
| 8 | Собственный вес единицы длины газопровода | q_q , кН/м | $q_q = \gamma_q \cdot g_q$ | 0,034 |
| 9 | Полная погонная эквивалентная нагрузка | Q , кН/м | $Q = \sum \beta_i \cdot \eta \cdot q_i$ | 5,17 |

Проверка несущей способности газопровода

| № п/п | Наименование параметра | Обозначение, ед. измерения | Расчетная формула | Величина |
|-------|---|----------------------------|--|----------|
| 1 | Внешнее гидростатическое давление грунтовых вод | P_w , МПа | $P_w = \rho_w \cdot h_w$ | 0,028600 |
| 2 | Коэффициент отпора грунта | Θ | $\Theta = 1 / \left[1 + \frac{P_{гр} - P_w}{D + 0,1 \cdot P_{гр}} \right]$ | 0,44 |
| 3 | Величина овализации трубы газопровода | ε_φ , % | $\varepsilon_\varphi = \xi \cdot \frac{Q}{4 \cdot d_e \cdot D} \cdot \Theta \cdot 100$ | 1,07 |

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

$$\varepsilon_\varphi + 2\% = \xi \cdot \frac{Q}{4 \cdot d_e \cdot D} \cdot \Theta \cdot 100 + 2\% \leq [\varepsilon_\varphi]$$

- выполняется, т.к. 3,07 < 5

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

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

- выполняется, т.к. 0,78 > 0,0800

Вывод: Газопровод из полиэтиленовых труб по ГОСТ Р 58121.2-2018 требованиям по прочности и несущей способности.

ПЭ 100 110 SDR 11 соответствует

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

Выполнил:  Чечелев В.Ю.

Проверил:  Леонова М.В.

Расчет устойчивости положения трубопровода, прокладываемого на обводненных участках трассы, против всплытия ГЗ 110х10,0 (СП 42-103-2003)

Ввод исходных данных

| Наименование параметра | Обозначение, ед. измерения | Величина |
|---|------------------------------|----------------|
| Тип участка: 1 - русловой или прибрежный; 2 - обводненный или пойменный | | 2 |
| Рабочее давление газопровода | p , МПа | 0,31 |
| Плотность воды с учетом растворенных в ней солей | ρ_w , кг/м ³ | 1040 |
| Угол поворота оси трубопровода | β , ° | 3 |
| Радиус упругого изгиба газопровода | ρ , м | 1500,0 |
| Вес пригруза | $Q_{пр}$, кг | 55 |
| Плотность материала пригруза | $Q_{пр}$, кг/м ³ | 1840 |
| Температура эксплуатации | t , °С | 5 |
| Температурный перепад | Δt , °С | -20 |
| Тип баласта - контейнеры текстильные 1 - КТ-М; 2 - ПТБК-ГС; 3 - ПТБК | | 2 |
| Тип используемых труб: | | |
| Наружный диаметр газопровода | d_e , мм | 110 |
| Стандартное размерное отношение (11 или 17,6) | SDR | 11 |
| Класс сырья: 1 - ПЭ80; 2 - ПЭ100 | | 2 |
| Коэффициент надежности по устойчивости положения трубопровода против всплытия | γ_a | 1,05 |
| Коэффициент линейного теплового расширения материала труб | α | 0,00022 |
| Коэффициент Пуассона материала труб | μ | 0,43 |
| Расчетная масса 1 м труб | m_q , кг | 3,14 |
| Ускорение свободного падения | g , м/с ² | 9,81 |
| Коэффициент надежности по балласту | γ_b | 0,85 |
| Минимальная длительная прочность | MRS, МПа | 10 |

Расчетные значения

| № п/п | Наименование параметра | Обозначение, ед. измерения | Расчетная формула | Величина |
|-------|---|----------------------------|---|-----------------|
| 1 | Напряжение в стенке трубы | σ , МПа | $\sigma = p \cdot (SDR - 1) / 2$ | 1,55 |
| 2 | Модуль ползучести материала труб | E , МПа | | 343 |
| 3 | Толщина стенки трубы | s , м | $s = d_e / SDR$ | 0,0100 |
| 4 | Выталкивающая сила воды, действующая на единицу длины трубопровода | q_w , Н/м | $q_w = \rho_w \cdot g \cdot \pi \cdot d_e^2 / 4$ | 97,0 |
| 5 | Угол поворота оси трубопровода | β , рад | $\beta_{(рад)} = \pi \cdot \beta^0 / 180$ | 0,052 |
| 6 | Нормативная равномерно распределенная нагрузка от упругого отпора при свободном изгибе трубопровода | $q_{изг}$, Н/м | $q_{изг} = \frac{4\pi \cdot E(t_e) \cdot d_e^4}{SDR \cdot 9 \cdot \beta^2 \cdot \rho^3} \cdot 10^6$ | 0,000698 |
| 7 | Собственный вес единицы длины газопровода | q_q , Н/м | $q_q = m_q \cdot g$ | 30,8 |

| | | | | |
|---|-------------------------------|---|---|-------------|
| 8 | Расстояние между пригрузами 1 | м | $L_{np} \leq \frac{Q_{np} \cdot \gamma_b \cdot (\rho_b - \gamma_a \cdot \rho_w)}{\rho_b \cdot [\gamma_a \cdot (q_w + q_{изг}) - q_q]}$ | 2,6 |
| 9 | Расстояние между пригрузами 2 | м | $L_{np} \leq d_e \cdot \left[\frac{3 \cdot \pi}{SDR} \cdot \frac{d_e}{q_w + q_{изг} - q_q} \cdot \left(0,9 \cdot MRS - \left \frac{2 \cdot \mu \cdot p}{(1 - 2/SDR)^2 - 1} - \alpha \cdot E(t_e) \cdot \Delta t - \frac{E(t_e) \cdot d_e}{2 \cdot \rho} \right \right)^{-0,5} \right] \cdot 10^3$ | 10,9 |

Согласно требованиям п. 5.68 принимаем $L_{np} = 2,6$ м

Вывод: Принимаем к установке контейнеры текстильные ПТБК-ГС- 130 с шагом установки $L_{np} = 2,6$ м (наполнитель песок) массой 55 кг

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

Выполнил:  Чечелев В.Ю.

Проверил:  Жидкова О.К.

3 Расчет на прочность, устойчивость и несущую способность полиэтиленового газопровода Ø110x10,0

| Наименование показателя | Обозначение | Размерность | Значение | Примечание, расчетная формула, ссылка на НТД | |
|---|-------------------|-------------------|----------|--|-------------------------|
| Минимальная длительная прочность для ПЭ100 | MRS | МПа | 10 | | |
| Стандартное размерное соотношение | SDR | - | 11 | | |
| Ширина траншеи на уровне верха газопровода | B | м | 0,8 | Берем из ПОС | |
| Параметр жесткости сечения газопровода | D | МПа | 0,39 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.71 формула 18 | |
| Модуль ползучести материала труб при темп. экспл. te | E(te) | МПа | 160 | СП 42-103-2003, п. 5.49 | |
| Модуль деформации грунта засыпки | Eгр | МПа | 15,4 | Берется из геологии в расчетной точке | ИГЭ-1 суглинок |
| Критическая величина внешнего давления | Pкр | МПа | 1,72 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.74, формулы 25, 26 | |
| Полная погонная эквивалентная нагрузка | Q | Н/м | 3861 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.71 формула 17 | |
| Наружный диаметр газопровода | de | м | 0,11 | | |
| Расчетная масса 1 м трубы | m _г | кг | 3,14 | СП 42-103-2003, Приложение В | |
| Ускорение свободного падения | g | м/с ² | 9,81 | | |
| Расстояние от верха трубы до поверхности земли | h _м | м | 1,22 | Берем из ППО | |
| Высота столба грунтовых вод над верх. образ. газопровода | h _в | м | 0 | Берем из ППО | |
| Расстояние между пригрузами | l _{пр} | м | 2,6 | Берем из ППО, расчета пригрузов | |
| Рабочее давление | p | МПа | 0,31 | | |
| Гидростатическое давление воды | p _в | МПа | 0,00 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.55 формула 5. p _в =p _в ·g·h _в ·10 ⁻⁶ | |
| Внешнее радиальное давление | p _е | МПа | 0,00 | Равно p _в на обводненных участках или нулю на необводненных | |
| Собственный вес единицы длины газопровода | q _г | Н/м | 31 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.53 формула 3. q _г =m _г ·g | |
| Давление грунта на единицу длины газопровода | q _м | Н/м | 3 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.54 формула 4. q _м =p _м ·g·de·h _м | |
| Выталкивающая сила воды на ед. длины газопровода | q _в | Н/м | 97 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.56 формула 6 q _в =π/4·p _в gde ² | |
| Нагрузка от упругого отпора газопровода | q _{изг} | Н/м | 406 | Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.68 формула 14 $q_{изг} = \frac{4\pi \cdot E(t_e) \cdot d_e^4}{SDR \cdot 9\beta_{рас}^2 \cdot 10^6}$ | |
| Интенсивность равномерно распредел. нагр. на поверхн. грунта | q _в | Н/м ² | 5000 | Принимается 5000 Н/м ² согласно СП 42-103-2003, п.5.62 | |
| Нагрузка от транспортных средств на ур. заложения газ-да | q _т | Н/м | 20000 | СП 42-103-2003, рисунок 7 | |
| Коэфф. линейного тепл. расширения труб | α | °С-1 | 0,00022 | СП 42-103-2003, п. 5.50 | |
| Угол поворота оси газопровода | β | рад | 0,59 | Берется из ППО максимальный угол поворота в месте подтопления | |
| Коэфф. надежности устойчивого положения газопровода | γ _а | - | 1,05 | СП 42-103-2003, таблица 6 | |
| Коэфф. надежности по материалу пригруза | γ _б | - | 0,85 | СП 42-103-2003, п. 5.69 | |
| Коэфф. надежности по нагрузке от транспорта | γ _т | - | 1,4 | СП 42-103-2003, п. 5.72 | |
| Начальное напряж. труб-да (упруг. изг. по заданному проф.) | γ _г | - | 1 | | |
| Релаксационная способность полиэтиленовых труб | γ _и | - | 0 | Шурайц л.168, 171 Принимается 0,6-0,8 при условии | $E(t_e)d_e/2\rho > 3,5$ |
| Температура эксплуатации | t _е | °С | 0 | Ноль или берется по паспорту газа | |
| Температурный перепад | Δt | °С | -20 | | |
| Коэффициент Пуассона материала труб | μ | - | 0,43 | | |
| Радиус упругого изгиба газопровода | ρ | м | 2,75 | Берется минимальный радиус по трассе 25de | |
| Плотность грунта | ρ _м | кг/м ³ | 2,07 | Берется из геологии в расчетной точке | ИГЭ-1 суглинок |
| Плотность воды с учетом растворенных в ней солей | ρ _в | кг/м ³ | 1040 | | |
| Дополнительные напряжения в особых условиях | σ _{оу} | МПа | 0,322 | СП 42-103-2003, п. 5.62, 5.63 | |
| Дополнительные напряжения в сейсмических районах | σ _с | МПа | 0 | СП 42-103-2003, п. 5.64 | |
| Коэффициент давления грунта | k _{гр} | - | 0,732 | СП 42-103-2003, таблица 7 | |
| 1. Продольные фибровые напряжения | σ _{прF} | МПа | 0,54 | $\sigma_{прF} = \frac{2\mu P}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1}$ | |
| 2. Продольные осевые напряжения от действия нагрузок силового и деформационного воздействия | σ _{прNS} | МПа | 1,24 | $\sigma_{прNS} = \left \frac{2\mu P}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e) \Delta t \right + \sigma_c$ | |

| | | | | | |
|--|-------------------|-----|-------|---|--------------------------|
| 3. Продольные фибровые напряжения от совместного действия всех нагрузок силового и деформационного воздействия | σ _{прNS} | МПа | 3,49 | $\sigma_{\text{прF}} = \left \frac{2\mu P}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e) \Delta t \right + \sigma_{\text{oy}} + \frac{E(t_e) d_e}{2\rho} \cdot \gamma_i \cdot \gamma_r + \sigma_c$ | |
| 4. Проверка прочности газопровода с учетом коэффициента сварных соединений 0,95 при отсутствии 100% контроля сварных соединений | σ _{прF} | МПа | 0,54 | ≤ 0,4MRS · 0,95 | 3,80 Условие выполняется |
| | σ _{прNS} | МПа | 1,24 | ≤ 0,5MRS · 0,95 | 4,75 Условие выполняется |
| | σ _{прNS} | МПа | 3,49 | ≤ 0,9MRS · 0,95 | 8,55 Условие выполняется |
| 5. Параметр жесткости сечения газопровода | D | МПа | 0,39 | $D = \frac{E(t_e)}{4(1-\mu^2)} \left(\frac{SDR-1}{2} \right)^{-3}$ | |
| 6. Нагрузка от давления грунта | Q1 | МПа | 15 | $Q_1 = q_m \frac{B}{d_e} k_{\text{гр}}$ | |
| 7. Нагрузка от собственного веса газопровода | Q2 | МПа | 34 | $Q_2 = 1,1q_g$ | |
| 8. Нагрузка от выталкивающей силы воды на обводненных участках трассы | Q3 | МПа | 116 | $Q_3 = 1,2q_w$ | |
| 9. Нагрузка от равномерно распределенной нагрузки на поверхности засыпки | Q4 | МПа | 631 | $Q_4 = 1,4q_v d_e k_{\text{н}} \quad k_{\text{н}} = \frac{3}{2} \frac{D + 0,125E_{\text{гр}}}{D + 0,25E_{\text{гр}}}$ | |
| 10. Нагрузка от подвижных транспортных средств | Q5 | МПа | 3 080 | $Q_5 = \gamma_{\text{т}} q_{\text{т}} d_e$ | |
| 11. Нагрузка от веса утяжелителя | Q6 | МПа | -3 | $Q_6 = \frac{\{l_{\text{пр}} \cdot \rho_b [\gamma_a (q_w + q_{\text{изг}}) - q_g]\}}{[\gamma_b (\rho_b - \gamma_a \cdot \rho_w)]}$ | |
| 12. Полная погонная эквивалентная нагрузка | Q | МПа | 3 861 | $Q = \sum_1^5 \beta_i Q_i \quad \beta_1 = \beta_2 = 0,75 \quad \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 1$ СП 42-103-2003, п. 5.73 | |
| 13. Проверка несущей способности по условию предельно допустимой величины овализации поперечного сечения трубы | 6 704 | ≤ | 50000 | $\xi \frac{Q}{4Dd_e} \left(1 + \frac{0,125E_{\text{гр}} - p_e}{D + 0,012E_{\text{гр}}} \right)^{-1} \leq 5 \cdot 10^4$ СП 42-103-2003, п. 5.71 | Условие выполняется |
| 14. Определение критической величины внешнего давления | Р _{кр1} | МПа | 1,72 | $P_{\text{кр}} = 0,7(DE_{\text{гр}})^{0,5}$ СП 42-103-2003, п. 5.74, формула 25 | |
| | Р _{кр2} | МПа | 2,59 | $P_{\text{кр}} = D + 0,143E_{\text{гр}}$ СП 42-103-2003, п. 5.74, формула 26 | |
| | Р _{кр} | МПа | 1,72 | Принимается меньшее из значений Р _{кр1} и Р _{кр2} | |
| 15. Проверка несущей способности по условию устойчивости круглой формы поперечного сечения газопровода | 0,06 | ≤ | 1,72 | $1,7 \left(\frac{Q}{10^6 d_e} + p_w \right) \leq P_{\text{кр}}$ СП 42-103-2003, п. 5.74, формула 24 | Условие выполняется |
| Вывод: Газопровод из полиэтиленовых труб ПЭ 100 ГАЗ SDR 11 Ø110x10,0 ГОСТ Р 58121.2-2018 соответствует требованиям по прочности и несущей способности. | | | | | |

4 Расчет пропускной способности надземных газопроводов с учетом максимально допустимого уровня шума, создаваемого движением газа

Ввод исходных данных

| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
|---------------------------------|-------------|----------|
| Температура газа, °С | T | 4 |
| Толщина стенки, мм (диаметр 57) | t | 3,5 |
| Толщина стенки, мм (диаметр 57) | t | 3,5 |
| Коэффициент сжимаемости | z | 0,94 |

Расчет скорости движения газа рассчитывается по формуле:

$$v = 0,1273 \times \frac{Q \times z \times (273 + t)}{P \times d^2}$$

| Наименование объекта | Параметр | Обозначение | Значение | Скорость движения газа |
|----------------------|------------------------------------|-------------|--------------|------------------------|
| д. Милёнки в.д. | Расход газа, м ³ /ч | Q | 33,25 | 0,82 |
| | Абсолютное давление газа, МПа | P | 0,31 | |
| | Мин.диаметр газ-да (вход в ГРПШ) | d | 57 | |
| д. Милёнки н.д. | Расход газа, м ³ /ч | Q | 33,25 | 3,25 |
| | Абсолютное давление газа, МПа | P | 0,003 | |
| | Мин.диаметр газ-да (выход из ГРПШ) | d | 57 | |

Расчет скоростей газа выполнен для газопроводов минимальных диаметров, применяемых в проекте (входы и выходы из ГРПШ). По результатам расчетов скорости газа не превышают указанных в п.7.1.6. ГОСТ 34715.0-2021, соответственно уровень шума находится в пределах допустимого.

5 Расчет расхода газа на продувку, заполнение газопровода и настройку ГРПКоличество участков газопровода: **2**Количество ГРП: **1**Расход газа на продувку газопровода:
$$Q_{пр} = \frac{0,0029 \cdot k \cdot V_c \cdot (P_a + P_{г})}{273 + t_{г}} ;$$

где V_{ci} - геометрический объем участка газопровода, м³, $V_{ci} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot \ell_i$
 d_i - внутренний диаметр участка трубы, м
 ℓ_i - длина участка, м

| № участка | 1 | 2 |
|---------------------------|-------|---------|
| d_i , м | 0,051 | 0,09 |
| ℓ_i , м | 2,00 | 4798,00 |
| V_{ci} , м ³ | 0,00 | 30,52 |

 P_a - атмосферное давление, Па, $P_a = 101325$ Па $P_{г}$ - давление газа в газопроводе при продувке, Па, $P_{г} = 1E+05$ Па $t_{г}$ - температура газа, °С, $t_{г} = 0$ k - поправочный коэффициент, $k = 1,25$ Общий геометрический объем газопровода $V_c = 30,53$ м³**Расход газа на продувку $Q_{пр} = 81,61$ м³**расход газа на регулировку и настройку ГРП:
$$Q_{рег} = \frac{9,24 \cdot d_{св}^2 \cdot \tau \cdot (P_{г}/p)^{0,5} \cdot (P_a + P_{г})}{273 + t_{г}}$$

где

 $P_{г}$ - давление газа в газопроводе при настройке, Па, $P_{г} = 1E+05$ Па t - время регулировки и настройки, ч, $t = 0,2$ p - плотность газа, кг/м³, $p = 0,73$ $d_{св}$ - внутренний диаметр продувочной свечи, м

| № ГРП | 1 |
|-----------------------------|--------|
| $d_{свi}$, м | 0,02 |
| Q_{regi} , м ³ | 201,76 |

Расход газа на настройку ГРП $Q_{рег} = 201,76$ м³**Расчет расхода газа на продувку газопровода и настройку ГРП $Q = 283,37$ м³**

Объем газа на заполнение газопровода, $V_{г.з.}$, м³ до давления $P_{раб}$ определяется по формуле:

$$V_{г.з.} = 10 \cdot V_{тр} \cdot \left(\frac{P_{к}}{Z_{к}} - \frac{P_{н}}{Z_{н}} \right)$$

где $V_{тр}$ - геометрический объем заправляемого участка трубопровода, м³

$V_{тр}$ определен ранее и составляет 30,53 м³

$P_{н}$, $P_{к}$ - соответственно абсолютное давление газа перед началом работы и после заполнения трубопровода, МПа;

$P_{н} = 0,1013$ МПа

$P_{к} = 0,701$ МПа

$Z_{н}$, $Z_{к}$ - соответственно коэффициент сжимаемости газа перед началом работы и после заполнения трубопровода;

Коэффициент сжимаемости газа Z вычисляем по формуле 7.2 СТО ГАЗПРОМ 11-2005

$$Z = 1 - 0,0907 \times P \times (T/200)^{-3,668}$$

где P , T - соответственно давление и температура газа, МПа и К

$T = 293$ К

$Z_{н} = 0,997736$

$Z_{к} = 0,984325$

Объем газа на заполнение газопровода, $V_{г.з.} = 186,51$ м³

Газ для первичного заполнения газопровода и проведения пусконаладочных работ

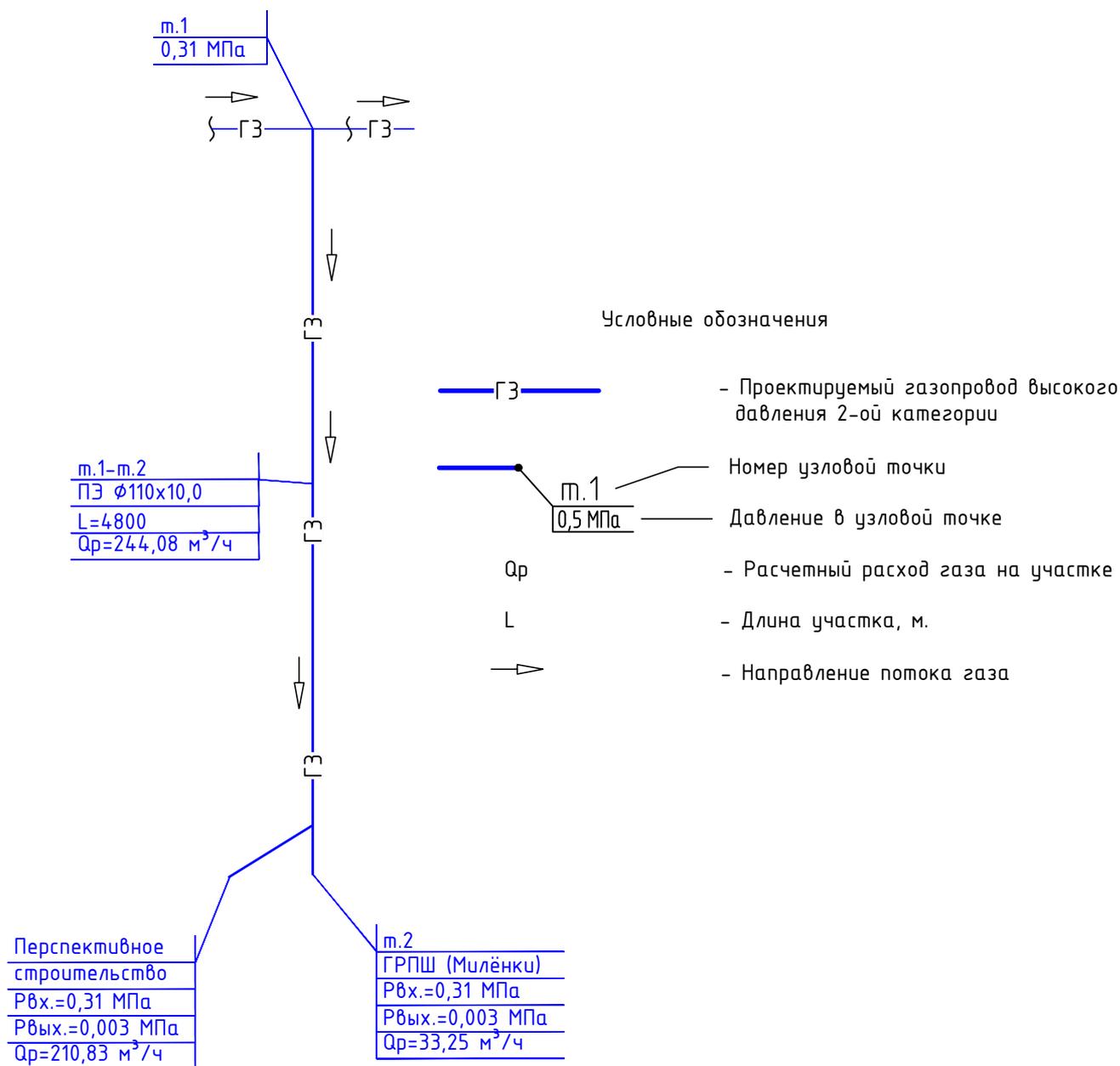
$$\begin{aligned} Q &= Q_{пр} + Q_{рег} + V_{г.з.} \\ Q &= 81,61 + 201,76 + 187 = 469,88 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Расчет выполнил



Чечелев В.Ю.

Приложение А Схема гидравлического расчета



Исходные данные и результаты гидравлического расчета газопровода высокого давления

| Номер участка на схеме | Фактич. длина участка, l_1 , м | Типоразмер трубы, $D \times t$, мм | Внутр. диаметр, d , мм | Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$ | Расч. длина участка, l , м | Давление в начале участка, P_n , МПа | Давление в конце участка, P_k , МПа | Максимальная скорость газа, v , м/с |
|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 12 | 13 | 14 |
| 1-2 | 4806,00 | 110 x 10,0 | 90 | 244,08 | 5286,60 | 0,31 | 0,31 | 2,51 |

