



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

2023

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 $\varnothing 110 \times 10,0 \times 0,9$
"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	mг	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	hm	м	1,22	Берем из ППО	
Высота столба грунтовых вод над верх. образ. газопровода	hw	м	0	Берем из ППО	
Расстояние между пригрузами	lпр	м	2,6	Берем из ППО, расчета пригрузов	
Рабочее давление	p	МПа	0,31		
Гидростатическое давление воды	pw	МПа	0,00	Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.55 формула 5. pw=pw·g·hw·10 ⁻⁶	
Внешнее радиальное давление	pe	МПа	0,00	Равно pw на обводненных участках или нулю на необводненных	
Собственный вес единицы длины газопровода	qг	Н/м	31	Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.53 формула 3. qг=mг·g	
Давление грунта на единицу длины газопровода	qm	Н/м	3	Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.54 формула 4. qm=pm·g·de·hm	
Выталкивающая сила воды на ед. длины газопровода	qw	Н/м	97	Рассчитывается, СП 42-103-2003, п. 5.56 формула 6 qw=π/4·pwgde ²	
Нагрузка от упругого отпора газопровода	qизг	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	qv	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	qt	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	γa	-	1,05	СП 42-103-2003, таблица 6	
Коэфф. надежности по материалу пригруза	γb	-	0,85	СП 42-103-2003, п. 5.69	
Коэфф. надежности по нагрузке от транспорта	γт	-	1,4	СП 42-103-2003, п. 5.72	
Начальное напряж. труб-да (упруг. изг. по заданному проф.)	γr	-	1		
Релаксационная способность полиэтиленовых труб	γi	-	0	Шурайц л.168, 171 Принимается 0,6-0,8 при условии	$E(t_e)d_e/2\rho > 3,5$
Температура эксплуатации	te	°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	pm	кг/м ³	2,07	Берется из геологии в расчетной точке	ИГЭ-1 суглинок
Плотность воды с учетом растворенных в ней солей	pw	кг/м ³	1040		
Дополнительные напряжения в особых условиях	σоу	МПа	0,322	СП 42-103-2003, п. 5.62, 5.63	
Дополнительные напряжения в сейсмических районах	σс	МПа	0	СП 42-103-2003, п. 5.64	
Коэффициент давления грунта	kгр	-	0,732	СП 42-103-2003, таблица 7	
1. Продольные фибровые напряжения	σпрF	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	σпрNS	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	$Q = \sum_1^5 \beta_i Q_i \quad \beta_1 = \beta_2 = 0,75$ $\beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 1$ 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 ГРП

Количество участков газопровода: 2

Количество ГРП: 1

Расход газа на продувку газопровода:
$$Q_{np} = \frac{0,0029 \cdot k \cdot V_c \cdot (P_a + P_r)}{273 + t_r} ;$$

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

где

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

№ ГРП	1
d_{cvi} , м	0,02
Q_{reg} , м ³	201,76

Расход газа на настройку ГРП $Q_{reg} = 201,76$ 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

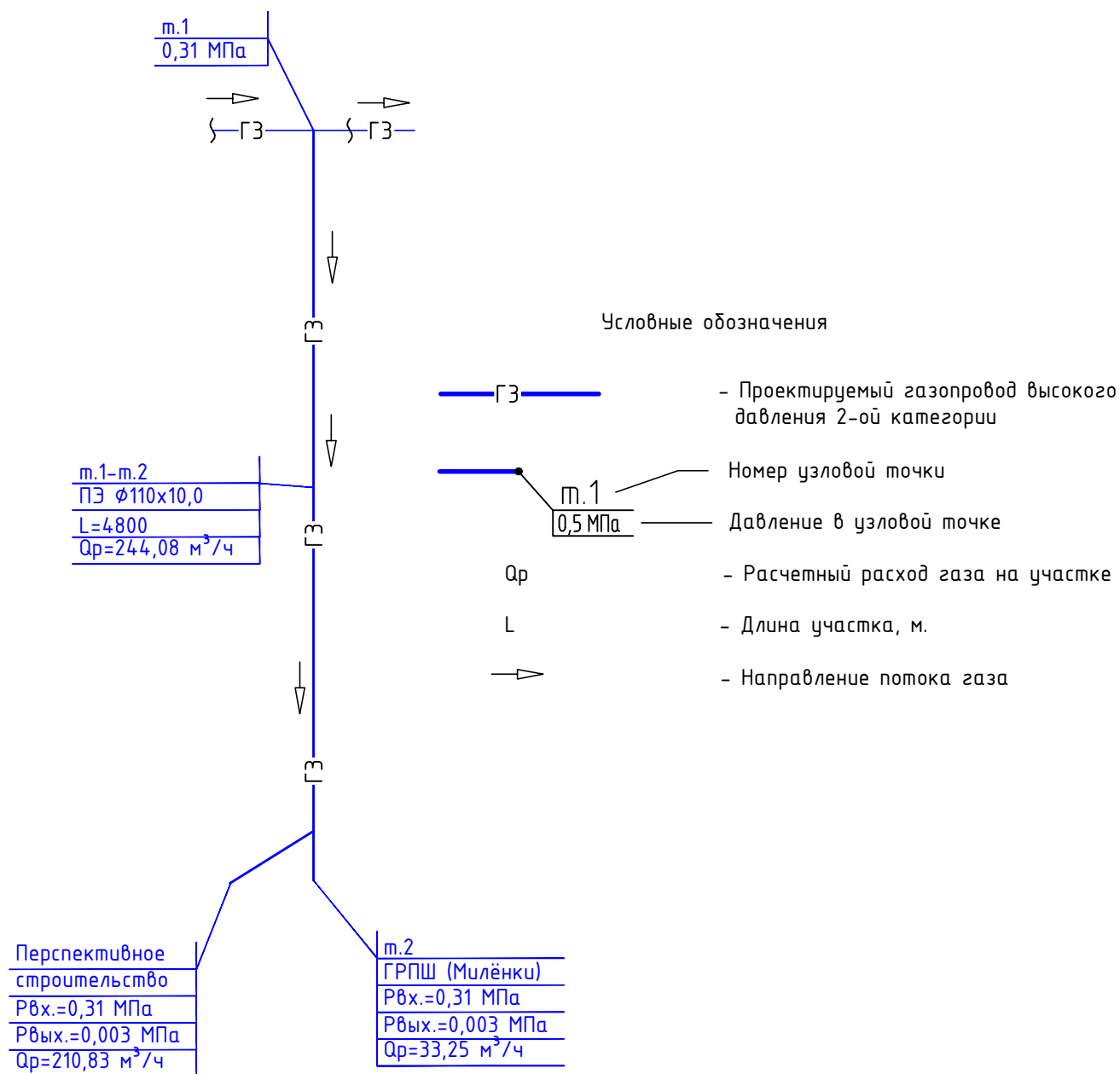
$$\begin{aligned} Q &= Q_{пр} + Q_{рег} + V_{г.з.} \\ Q &= 81,61 + 201,76 + 187 = 469,88 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

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, м ³ /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

Таблица регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в док.	Номер док.	Подп.	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных				