Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром проектирование»

Заказчик – ООО «Газпром газификация»

ГАЗОПРОВОД МЕЖПОСЕЛКОВЫЙ К ДЕР. ЗАБОЛОТЬЕ ПЕРЕМЫШЛЬСКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 6. Иная документация в случаях, предусмотренных законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Часть 4. Расчетная часть

5375.062.П.0/0.0002-РЧ

Том 6.4

2023

Общество с ограниченной ответственностью
«Газпром проектирование»

Заказчик – ООО «Газпром газификация»

ГАЗОПРОВОД МЕЖПОСЕЛКОВЫЙ К ДЕР. ЗАБОЛОТЬЕ ПЕРЕМЫШЛЬСКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 6. Иная документация в случаях, предусмотренных законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Часть 4. Расчетная часть

5375.062.П.0/0.0002-РЧ

Том 6.4

Заместитель директора
филиала по производству — Ю.М. Комиссаров

Главный инженер проекта — Г.С. Достанова

2023

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

Список исполнителей

Отдел проектирования линейной части газопроводов:

Начальник отдела		12.2023	П.С. Бабусенко
Главный специалист		12.2023	А.С. Шамухин
Инженер I категории		12.2023	А.А. Криворучкина

Нормоконтроль:

Главный специалист		12.2023	А.Н. Петухова

Бюро ГИП:

ГИП		12.2023	Г.С. Достанова

Содержание

1 Проверка прочности проектируемого газопровода Ø63х5,8мм 3

2 Расчет полиэтиленового футляра Ø160х14,6мм 4

3 Расчеты параметров при строительстве газопровода методом горизонтально-направленного бурения 5

3.1 Пересечение газопроводом Г3 Ø63х5.8 а/д методом ГНБ в футляре ПЭ100 ГАЗ SDR11 160х14.6 (техн.) ПК4+19,50 – ПК4+70,00; Lфутляра=50,50 м 5

3.2 Пересечение газопроводом Г3 Ø63х5.8 а/д методом ГНБ в футляре ПЭ100 ГАЗ SDR11 160х14.6 (техн.) ПК18+7,00 – ПК18+44,50; Lфутляра=37,50 м 11

4 Расчет расхода газа на продувку газопровода и настройку ГРПШ 17

5 Расчет пропускной способности надземных газопроводов с учетом максимально допустимого уровня шума, создаваемого движением газа 18

6 Гидравлический расчет 19

1 Проверка прочности проектируемого газопровода Ø63х5,8мм

Исходные данные			Газ-д
Наружный диаметр газопровода	d	м	0,063
Марка полиэтилена (ПЭ 80 или ПЭ 100)			ПЭ 100
Стандартное размерное отношение, SDR	SDR		11
Рабочее давление	p	МПа	0,6
Температура газа	t_e	^{0}C	0
Рабочее давление газа, соответствующее максимальному значению давления для данной категории газопровода, МОР	МОР	МПа	0,6
Грунтовые условия (таблицы 4 и 5 СП 42-103-2003)			
Тип грунта			Суглинки
Коэффициент защемления газопровода в грунте	m_0		0,6
Скорость распространения продольной сейсмической волны	ν_c	км/с	0,3
Сейсмическое ускорение	a_c	см/с^2	0
Температурный перепад	Δt	^{0}C	-20
Минимальная длительная прочность	MRS	МПа	10
Коэффициент линейного теплового расширения	α	$^0C^{-1}$	0,00022
Коэффициент Пуассона	μ		0,43
Радиус упругого изгиба (30d)	ρ	м	2
РАСЧЕТ			
Напряжения в стенке трубы, σ			
$\sigma = \frac{p(SDR-1)}{2}$	σ	МПа	3
Значение модуля ползучести $E(t_e)$ Принимается в зависимости от σ и t_e по графику на рисунке 3 СП 42-103-2003	$E(t_e)$	МПа	310
Дополнительные напряжения от сейсмических воздействий, σ_c			не учитыв
$\sigma_c = 0{,}04E(t_e)\frac{m_o \times a_c}{\nu_c}$	σ_c	МПа	0
Дополнительные напряжения при пучинистости грунта, σ_{oy}	σ_{oy}	МПа	0,5
Нагрузка от силового и деформационного нагружений			
$\sigma_{прNS} = \left[\frac{2 \times \mu \times p}{\left[1-\frac{2}{SDR}\right]^{-2}-1} - \alpha \times E(t_e) \times \Delta t\right] + \sigma_c$	$\sigma_{прNS}$	МПа	2,4089
$\sigma_{прS} = \left[\frac{2 \times \mu \times p}{\left[1-\frac{2}{SDR}\right]^{-2}-1} - \alpha \times E(t_e) \times \Delta t\right] + \sigma_{oy} + \frac{E(t_e)d_e}{2\rho} + \sigma_c$	$\sigma_{прS}$	МПа	7,7914
Условие прочности			
$\sigma_{прNS} \leq 0{,}5MRS$			**Выполняется**
$\sigma_{прS} \leq 0{,}9MRS$			**Выполняется**

2 Расчет полиэтиленового футляра Ø160х14,6мм на несущую способность

Переменные данные для расчета		
Наружный диаметр газопровода, м	D_e	0,16
Толщина стенки трубы газопровода, м	s	0,0146
Нагрузка от автотранспорта, кН/м^2	q_T	2,5
Коэффициент нагрузки транспорта	g_T	1,4
Грунт в основании	суглинок	
Плотность грунта засыпки, кг/м^3	r_m	2710
Средняя ширина траншеи, м	B	0,4
Глубина заложения газопровода до верха трубы, м	$H_Г$	5,6
Модуль деформации грунта засыпки, МПа	$E_{гр}$	19,7
Коэффициент давления бокового грунта, МПа	h	0,97
Расчётная масса 1 м трубы, кг	m_q	6,73
УГВ над газопроводом, м	H_w	0

Постоянные данные для расчета (const)		
Равномерно распределённая нагрузка, кН/м^2	q_v	5
Число ПИ	p	3,1415
Ускорение свободного падения, м/с^2	g	9,81
Плотность грунтовых вод, кг/м^3	r_w	1030
Коэф. надёжности по нагрузке грунтовых вод	g_w	0,8
Коэф. надёжности по нагрузке дорожных покрытий	g_v	1,4
Коэф. надёжности по весу трубы	g_q	1,1
Коэф. надёжности по нагрузке давления грунта	g_m	1,2
Коэффициент овализации	z	1,3
Коэффициент Пуассона материала труб	m	0,43
Модуль ползучести полиэтилена, МПа	E	310
Коэффициенты приведения нагрузок	b_1,b_2	0,75

Расчёт

Определяемый параметр	Расчётная формула	Обозн.	Результат
1. Расчётная нагрузка от автотранспорта, кН/м	$g_T q_T D_e$	$Q_т$	0,56
2. Расчётная равномерно распределённая нагрузка, кН/м	$g_v q_v D_e K_н$	Q_v	0,95
3. Коэффициент концентрации давления грунта	$1,5\ (D+P_{гр})/(D+2P_{гр})$	Кн	0,85
4. Параметр жёсткости трубопровода, МПа	$\{E / [4(1-m^2)]\} * [2s/(D_e-s)]^3$	D	0,77
5. Параметр жёсткости грунта засыпки, МПа	$0,125\ E_{гр}$	$P_{гр}$	2,46
6. Равномерно распределённая нагрузка от давления гр.вод, кН/м	$(r_w pg\ De^2/4)^{-3}$	q_w	0,20
7. Расчётная нагрузка от выталкивающей силы воды, кН/м	$g_w q_w$	Q_w	0,16
8. Расчётная нагрузка от собственного веса трубопровода, кН/м	$g_q q_q$	Q_q	0,07
9. Расчётный вес единицы длины трубопровода, кН/м	$g m_q 10^{-3}$	q_q	0,07
10. Разгрузочный коэффициент	$1/[1+2*(P_{гр}/P_{кр}) * (B-D_e)/(8*D_e)$	c	0,75
11. Расчётная вертикальная нагрузка, кН/м	$g_m q_m D_e K_н$	Q_m	24,34
12. Равномерно распределённая нагрузка от давления грунта, кН/м^2	$g r_m H_г 10^{-3}$	q_m	148,88
13. Коэф. совместного действия отпора грунта и внешнего давления	$1/(1+(P_{гр}-P_w)/(D+0,1P_{гр})$	u	0,29
14. Внешнее гидростатическое давление грунтовых вод, МПа	$g r_w H_w 10^{-6}$	P_w	0,00
15. Полная внешняя приведённая нагрузка, кН/м	$Sb_1h(Q_m+Q_т)+b_2h(Q_q-Q_w)$	Q	17,66
16. Предельно допустимая величина овализации,%	$j*Q*10^3*u*100/(4*D*10^6*D_e)$	e_w	1,36
17. Критическая величина внешнего радиального давления, МПа	$2(D*P_{гр})^{0,5}$	$P_{кр}$	2,75

Проверка условия устойчивости круглой формы, МПа		
$P_{кр}$= 2,75	≥	$0,19\ [1,7(Q/D_e+P_w*10^3)]*10^{-3}$
Условие обеспечения устойчивости круглой формы выполнено		

Проверка условия допустимой овализации, %		
[e]= 5	≥	1,36 e_w
Условие допустимой овализации выполнено		

3 Расчет параметров при строительстве газопровода методом горизонтально-направленного бурения

3.1 Пересечение газопроводом Г3 Ø63х5.8 а/д методом ГНБ в футляре ПЭ100 ГАЗ SDR11 160х14.6 (техн.) ПК4+19,50 – ПК4+70,00; Lфутляра=50,50 м

Ввод исходных данных

Наименование параметра		Обозначение, ед. измерения	Величина
Тип грунта: 1 - песок; 4 - известняк; 2 - суглинок; 5 - песчаник; 3 - глина; 6 - торф		ИГЭ-1	2
Естественная пористость грунта		n_0	0,59
Коэффициент сцепления грунта		C_0, Н/м^2	33000
Угол внутреннего трения грунта		r, рад	0,4187
Коэффициент бокового давления		m	0,37
Материал трубы: 1 - полиэтилен ПЭ80; 2 - полиэтилен ПЭ100			2
Коэффициенты трения	газопровода о грунт	$f_{г\ п}$	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	$g_ш$, Н/м^3	78000
	материала трубы	$g_т$, Н/м^3	9300
	грунта	$g_г$, Н/м^3	20100
	бурового раствора	$g_ж$, Н/м^3	12000
	воды	$g_в$, Н/м^3	10000
Наружный диаметр футляра		$d_н$, м	0,16
Толщина стенки футляра		d, м	0,0146
Модуль упругости материала газопровода		E, Н/м^2	$300 \cdot 10^6$
Модуль упругости материала штанг		$E_ш$, Н/м^2	$2,1 \cdot 10^{11}$

Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Величина
Угол забуривания	a	12 ° 0 '
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	**0,21**
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	$\ell_ш$, м	**3**
Толщина стенки штанги	$d_ш$, м	**0,0065**
Количество прямолинейных и криволинейных участков пилотной скважины		4

Координаты точек перелома пилотной скважины

№ точки	1 (точка входа бура)	2	3	4	5 (точка выхода бура из земли)
Отметка земли фактическая	155,58	155,46	156,37	155,99	154,63
Глубина траншеи	0,00	1,44	3,80	4,12	1,46

Длины участков пилотной скважины в плане

№ участка	1	2	3	4
Длина	7	13,1	22,8	14,6

Расчет общего усилия протаскивания и крутящего момента

Сила, Н \ Текущая длина, м			0,00	5,81	11,61	17,42	23,23	29,03	34,84	40,65	46,45	52,26	58,07
Расчет усилия перемещения буровых штанг													
Сила трения от веса буровых штанг (в буровом канале)		P_2^*	84,86	54,51	29,22	9,01	-6,11	-16,13	-21,06	-20,89	-15,62	-5,27	10,14
Увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия (по М.М. Протодьяконову)	для благоприятных условий	$P_{3(а)}^*$	0,00	3,31	6,61	9,92	13,22	16,53	19,84	23,15	26,45	29,76	33,07
	для неблагоприятных условий	$P_{3(б)}^*$	0,00	5,58	11,15	16,73	22,30	27,88	33,46	39,04	44,62	50,20	55,78
Увеличение силы трения от наличия на буровых штангах выступов за пределы наружного диаметра	для благоприятных условий	$P_{4(а)}^*$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	для неблагоприятных условий	$P_{4(б)}^*$	0,00	11,97	23,94	35,92	47,89	59,87	71,84	83,82	95,80	107,78	119,76
Дополнительные силы трения от опорных реакций		P_5^*	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31
Сопротивление перемещению буровых штанг в зоне забуривания за счет смятия стенки скважины		P_6^*	137,66	137,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сопротивление 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	0,47	0,47	0,47
Усилие перемещения буровых штанг	для благоприятных условий	$P_{п(а)}^*$	246,83	219,79	60,14	43,23	31,42	24,71	23,09	26,57	35,62	49,28	68,01
	для неблагоприятных условий	$P_{п(б)}^*$	246,83	234,03	88,62	85,96	88,39	95,92	108,55	126,28	149,58	177,49	210,47

Сила, Н \ Текущая длина, м	0,00	5,81	11,61	17,42	23,23	29,03	34,84	40,65	46,45	52,26	58,07

Расчет усилия протаскивания газопровода

Сила трения от веса газопровода (в буровом канале)		P_2	-1045,78	-886,41	-746,23	-625,33	-523,78	-441,66	-379,02	-335,90	-312,30	-308,25	-323,74
Увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия	для благоприятных условий	$P_{3(а)}$	9501,54	8540,70	7582,25	6626,18	5672,50	4721,18	3772,24	2825,65	1881,42	939,54	0,00
	для неблагоприятных условий	$P_{3(б)}$	15475,80	13910,81	12349,72	10792,51	9239,18	7689,71	6144,09	4602,32	3064,39	1530,29	0,00
Дополнительные силы трения от опорных реакций		P_5	1,96	1,96	1,96	1,95	1,95	1,95	1,95	1,94	1,94	1,94	1,94
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	0,05	0,05	0,05
Сила трения от веса газопровода, находящегося вне бурового канала		P_8	0,00	144,06	288,12	432,18	576,24	720,30	864,36	1008,42	1152,48	1296,54	1440,60
Усилие протаскивания газопровода	для благоприятных условий	$P_{гп(а)}$	8457,73	7800,31	7126,10	6434,99	5726,91	5001,77	4259,52	3500,12	2723,58	1929,81	1118,85
	для неблагоприятных условий	$P_{гп(б)}$	14431,99	13170,42	11893,57	10601,32	9293,59	7970,29	6631,38	5276,79	3906,56	2520,56	1118,85

Расчет общего усилия протаскивания

Лобовое сопротивление движению расширителя		$P_р$	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34
Общее усилие протаскивания	для благоприятных условий	$P_{(а)}$	8712,90	8028,44	7194,58	6486,57	5766,67	5034,82	4290,95	3535,03	2767,55	1987,43	1195,20
	для неблагоприятных условий	$P_{(б)}$	14687,16	13412,80	11990,53	10695,62	9390,32	8074,56	6748,27	5411,41	4064,48	2706,39	1337,66

Величина расчетного усилия протаскивания газопровода для благоприятных условий не должна превышать максимально допустимого усилия протаскивания газопровода Рг п = 83000 Н

Максимальное расчетное усилие протаскивания газопровода для благоприятных условий: 8457,73 Н = 862,1539 кг, что значительно меньше допустимого усилия протаскивания газопровода Рг п: 8457,73 < 83000

Максимальное расчетное усилие протаскивания газопровода для неблагоприятных условий: 14431,99 Н = 1471,151 кг

Расчет напряжений в газопроводе для неблагоприятных условий

Радиус кривизны пилотной скважины, R = 233 м

При изгибе оси газопровода соответствующие максимальные напряжения $\sigma_и$ на наружной поверхности определяются по формуле:

$$\sigma_и = \frac{E \cdot d_н}{2R} = 0{,}10 \text{ МПа.}$$

Максимальные растягивающие напряжения для газопровода $\sigma_р$ при максимальном расчетном усилии протаскивания газопровода для неблагоприятных условий:

$$\sigma_р = \frac{T}{S} = 2{,}16 \text{ МПа,}$$

где S = 0,0067 $м^2$ - площадь сечения газопровода.

Максимальное действующее напряжение определяем по формуле: $\sigma_{р.\max} = \sigma_и + \sigma_р =$ 2,27 МПа.

Максимальные напряжения не превышают предела текучести: $\sigma_{р.max} < \sigma_{тек}$

2,27 < 25

Коэффициент запаса по пределу текучести: $k_{тек} = \sigma_{тек} / \sigma_{р.\max} =$ 11,03

Данные для выбора бурильной установки

Максимальное расчетное общее усилие протаскивания для благоприятных условий: 8712,90 Н = 888,1649 кг

Максимальное расчетное общее усилие протаскивания для неблагоприятных условий: 14687,16 Н = 1497,162 кг

Максимальный крутящий момент: 248,0 Н · 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

8712,90 * 1,5 = 13069,35 Н = 1332,247 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.

3.2 Пересечение газопроводом Г3 Ø63х5.8 а/д методом ГНБ в футляре ПЭ100 ГАЗ SDR11 160х14.6 (техн.) ПК18+7,00 – ПК18+44,50; Lфутляра=37,50 м

Ввод исходных данных

Наименование параметра		Обозначение, ед. измерения	Величина
Тип грунта: 1 - песок; 4 - известняк; 2 - суглинок; 5 - песчаник; 3 - глина; 6 - торф		ИГЭ-2	2
Естественная пористость грунта		n_0	0,65
Коэффициент сцепления грунта		C_0, Н/м^2	26000
Угол внутреннего трения грунта		r, рад	0,3314
Коэффициент бокового давления		m	0,37
Материал трубы: 1 - полиэтилен ПЭ80; 2 - полиэтилен ПЭ100			2
Коэффициенты трения	газопровода о грунт	$f_{г\ п}$	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	$g_ш$, Н/м^3	78000
	материала трубы	$g_т$, Н/м^3	9300
	грунта	$g_г$, Н/м^3	20000
	бурового раствора	$g_ж$, Н/м^3	12000
	воды	$g_в$, Н/м^3	10000
Наружный диаметр футляра		$d_н$, м	0,16
Толщина стенки футляра		d, м	0,0146
Модуль упругости материала газопровода		E, Н/м^2	$300 \cdot 10^6$
Модуль упругости материала штанг		$E_ш$, Н/м^2	$2,1 \cdot 10^{11}$

Наименование параметра	Обозначение, ед. измерения	Величина
Угол забуривания	a	12 ° 0 '
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	**0,19**
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	$\ell_ш$, м	**3**
Толщина стенки штанги	$d_ш$, м	**0,0065**
Количество прямолинейных и криволинейных участков пилотной скважины		5

Координаты точек перелома пилотной скважины

№ точки	1 (точка входа бура)	2	3	4	5	6 (точка выхода бура из земли)
Отметка земли фактическая	153,67	153,34	152,25	154,85	154,31	154,77
Глубина траншеи	0,00	2,11	2,34	5,06	2,74	1,50

Длины участков пилотной скважины в плане

№ участка	1	2	3	4	5
Длина	11	8,7	6,5	14,6	7,7

Расчет общего усилия протаскивания и крутящего момента

Сила, Н \ Текущая длина, м			0,00	4,93	9,86	14,78	19,71	24,64	29,57	34,50	39,43	44,35	49,28
Расчет усилия перемещения буровых штанг													
Сила трения от веса буровых штанг (в буровом канале)		P_2^*	169,88	108,31	56,63	15,00	-16,46	-37,67	-48,58	-49,22	-39,64	-19,94	9,75
Увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия (по М.М. Протодьяконову)	для благоприятных условий	$P_{3(а)}^*$	0,00	4,01	8,01	12,02	16,03	20,05	24,06	28,07	32,08	36,10	40,12
	для неблагоприятных условий	$P_{3(б)}^*$	0,00	5,99	11,99	17,99	23,98	29,98	35,99	41,99	47,99	54,00	60,01
Увеличение силы трения от наличия на буровых штангах выступов за пределы наружного диаметра	для благоприятных условий	$P_{4(а)}^*$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	для неблагоприятных условий	$P_{4(б)}^*$	0,00	11,28	22,57	33,86	45,15	56,45	67,75	79,05	90,36	101,66	112,97
Дополнительные силы трения от опорных реакций		P_5^*	113,59	113,60	113,62	113,63	113,65	113,66	113,68	113,69	113,71	113,72	113,73
Сопротивление перемещению буровых штанг в зоне забуривания за счет смятия стенки скважины		P_6^*	130,33	130,37	130,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сопротивление 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	0,00	3,71	3,71
Усилие перемещения буровых штанг	для благоприятных условий	$P_{п(а)}^*$	413,80	356,29	308,66	140,66	113,22	96,04	89,15	92,54	106,15	133,59	167,31
	для неблагоприятных условий	$P_{п(б)}^*$	413,80	369,56	335,21	180,48	166,33	162,43	168,83	185,51	212,41	253,15	300,17

Сила, Н \ Текущая длина, м	0,00	4,93	9,86	14,78	19,71	24,64	29,57	34,50	39,43	44,35	49,28

Расчет усилия протаскивания газопровода

Сила трения от веса газопровода (в буровом канале)		P_2	-870,57	-678,06	-522,11	-403,48	-322,80	-280,50	-276,85	-311,95	-385,71	-497,89	-648,07
Увеличение силы трения от силы тяжести грунта зоны естественного свода равновесия	для благоприятных условий	$P_{3(а)}$	10191,06	9144,63	8104,37	7070,24	6042,20	5020,23	4004,27	2994,31	1990,30	992,21	0,00
	для неблагоприятных условий	$P_{3(б)}$	14729,79	13217,32	11713,76	10219,07	8733,18	7256,05	5787,63	4327,87	2876,71	1434,10	0,00
Дополнительные силы трения от опорных реакций		P_5	11,43	11,39	11,36	11,32	11,29	11,25	11,22	11,19	11,15	11,12	11,09
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	0,38	0,38
Сила трения от веса газопровода, находящегося вне бурового канала		P_8	0,00	122,27	244,53	366,80	489,07	611,33	733,60	855,87	978,13	1100,40	1222,67
Усилие протаскивания газопровода	для благоприятных условий	$P_{гп(а)}$	9331,91	8600,23	7838,15	7044,88	6219,75	5362,31	4472,24	3549,42	2593,88	1606,22	586,07
	для неблагоприятных условий	$P_{гп(б)}$	13870,64	12672,91	11447,55	10193,71	8910,73	7598,14	6255,60	4882,97	3480,29	2048,12	586,07

Расчет общего усилия протаскивания

Лобовое сопротивление движению расширителя		$P_р$	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03
Общее усилие протаскивания	для благоприятных условий	$P_{(а)}$	9750,74	8961,54	8151,85	7190,56	6338,01	5463,38	4566,42	3646,99	2705,06	1744,85	758,41
	для неблагоприятных условий	$P_{(б)}$	14289,47	13047,50	11787,78	10379,21	9082,09	7765,60	6429,46	5073,51	3697,73	2306,30	891,27

Величина расчетного усилия протаскивания газопровода для благоприятных условий не должна превышать максимально допустимого усилия протаскивания газопровода Рг п = 83000 Н

Максимальное расчетное усилие протаскивания газопровода для благоприятных условий: 9331,91 Н = 951,2651 кг, что значительно меньше допустимого усилия протаскивания газопровода Рг п: 9331,91 < 83000

Максимальное расчетное усилие протаскивания газопровода для неблагоприятных условий: 13870,64 Н = 1413,929 кг

Расчет напряжений в газопроводе для неблагоприятных условий

Радиус кривизны пилотной скважины, R = 83 м

При изгибе оси газопровода соответствующие максимальные напряжения $\sigma_и$ на наружной поверхности определяются по формуле:

$$\sigma_и = \frac{E \cdot d_н}{2R} = 0{,}29 \text{ МПа.}$$

Максимальные растягивающие напряжения для газопровода $\sigma_р$ при максимальном расчетном усилии протаскивания газопровода для неблагоприятных условий:

$$\sigma_р = \frac{T}{S} = 2{,}08 \text{ МПа,}$$

где S = 0,0067 $м^2$ - площадь сечения газопровода.

Максимальное действующее напряжение определяем по формуле: $\sigma_{р.\max} = \sigma_и + \sigma_р =$ 2,37 МПа.

Максимальные напряжения не превышают предела текучести: $\sigma_{р.max} < \sigma_{тек}$

2,37 < 25

Коэффициент запаса по пределу текучести: $k_{тек} = \sigma_{тек} / \sigma_{р.\max} =$ 10,56

Данные для выбора бурильной установки

Максимальное расчетное общее усилие протаскивания для благоприятных условий: 9750,74 Н = 993,9589 кг

Максимальное расчетное общее усилие протаскивания для неблагоприятных условий: 14289,47 Н = 1456,623 кг

Максимальный крутящий момент: 345,1 Н · 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

9750,74 * 1,5 = 14626,11 Н = 1490,938 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.

4 Расчет расхода газа на продувку газопровода и настройку ГРПШ

Количество участков газопровода: 1
Количество ГРП: 1

Расход газа на продувку газопровода: $Q_{пр} = \dfrac{0{,}0029 \cdot k \cdot V_c \cdot (P_a + P_Г)}{273 + t_Г}$;

расход газа на регулировку и настройку ГРП: $Q_{рег} = \dfrac{9{,}24 \cdot d_{св}^2 \cdot \tau \cdot (P_Г / p)^{0,5} \cdot (P_a + P_Г)}{273 + t_Г}$;

где V_{ci} - геометрический объем участка газопровода, м^3, $V_{ci} = \dfrac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot \ell_i$
d_i - внутренний диаметр участка трубы, м
ℓ_i - длина участка, м

№ участка	1
d_i, м	0,049
ℓ_i, м	1908,7
V_{ci}, м^3	3,60

P_a - атмосферное давление, Па, P_a = 101325
$P_Г$ - давление газа в газопроводе при продувке, Па, $P_Г$ = 100000
$t_Г$ - температура газа, °С, $t_Г$ = 20
k - поправочный коэффициент, k = 1,25
t - время регулировки и настройки, ч, t = 0,2
p - плотность газа, кг/м^3, p = 0,688
$d_{св}$ - внутренний диаметр продувочной свечи, м

№ ГРП	1
$d_{свi}$, м	0,02
$Q_{регi}$, м^3	193,60

Расход газа на настройку ГРП $Q_{рег}$ = 193,60 м^3

Общий геометрический объем газопровода V_c = 3,60 м^3

Расход газа на продувку $Q_{пр}$ = 8,97 м^3 ,

Расчет расхода газа на продувку газопровода и настройку ГРП Q = 203 м^3

Расчет выполнен по РД 153-39.4-079-01

5 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	t	3,5
Коэффициент сжимаемости	z	0,94

Расчет скорости движения газа рассчитыватся по формуле:

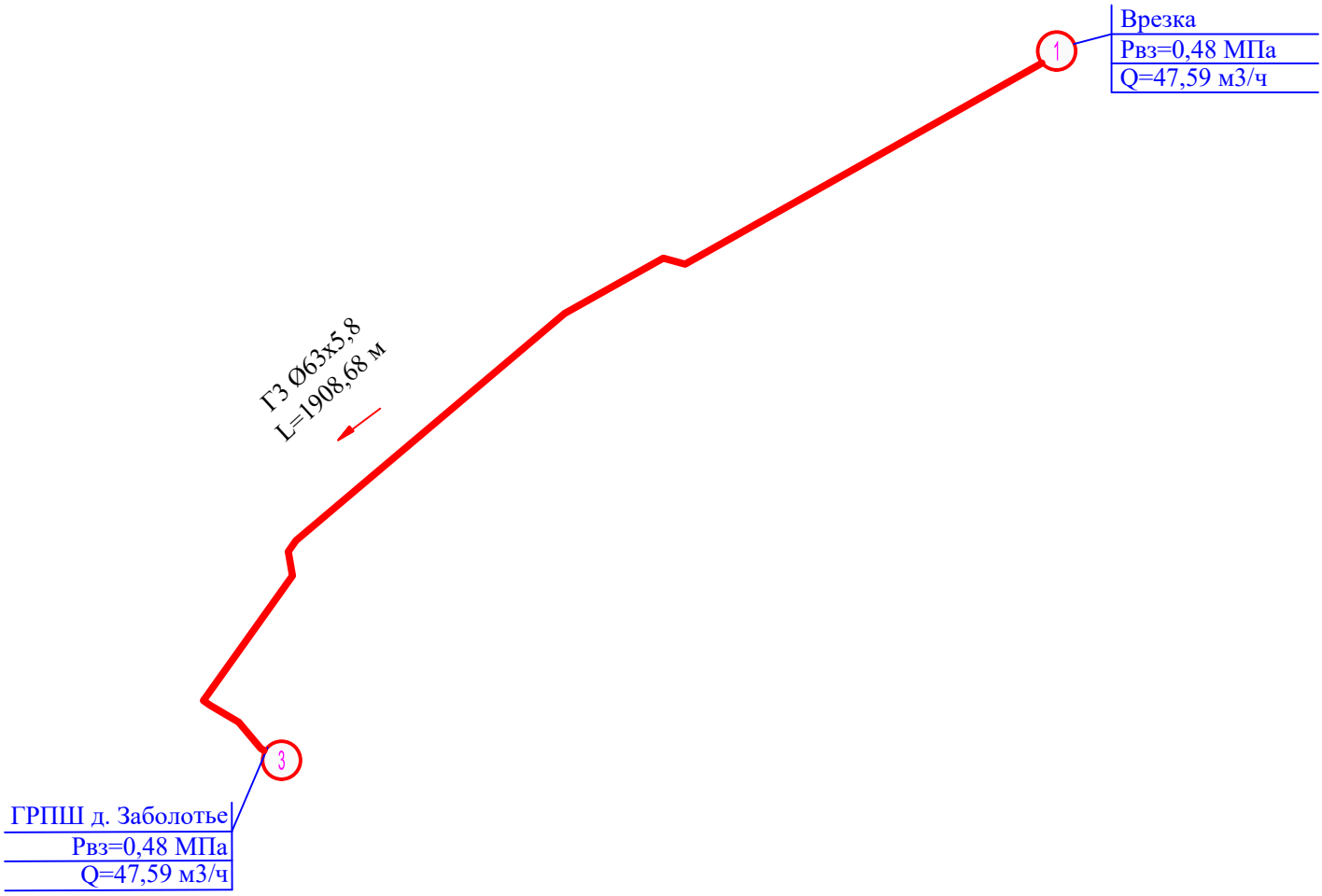
$$v = 0{,}1273 \times \frac{Q \times z \times (273 + t)}{P \times d^2}$$

Наименование объекта	Параметр	Обозначение	Значение	Скорость движения газа
д.Заболотье в.д.	Расход газа, м3/ч	Q	47,59	1,09
	Абсолютное давление газа, МПа	P	0,48	
	Мин.диаметр газ-да (вход в ГРПШ)	d	50	
д.Заболотье с.д.	Расход газа, м3/ч	Q	47,59	6,05
	Абсолютное давление газа, МПа	P	0,003	
	Мин.диаметр газ-да (выход из	d	50	

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.

6. Гидравлический расчет

СХЕМА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ								
Номер участка на схеме	Фактич. длина участка, ll, м	Типоразмер трубы, D x t, мм	Внутр. диаметр, d, мм	Расход газа, м³/ч	Расч. длина участка, l, м	Давление в начале участка,Рн, МПа	Давление в конце участка,Рк, МПа	Максимальная скорость газа, v, м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	1908,68	63 x 5,8	51	47,59	2099,55	0,48	0,48	1,06

Таблица регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (стр.) в док.	Номер док.	Подп.	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулиро-ванных				