

ИНСТРУКЦИЯ

№ И-0010-РПП-2010

**ПОВЕРОЧНОГО ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА БАЛОЧНЫХ
ОДНОПРОЛЕТНЫХ БЕСКОМПЕНСАТОРНЫХ НАЗЕМНЫХ
ПЕРЕХОДОВ ГАЗОПРОВОДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ**

Разработал

_____ **В.Г. Решетников**

**МОСКВА
2010 г.**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЕХОДА.....	3
3. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ПЕРЕХОДА	4
4. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	5
5. ПОРЯДОК ПРОЧНОСТНОГО ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА	7
6. РАСЧЕТНАЯ ПРОГРАММА	11
7. ОТЧЕТ И ПРОТОКОЛ.....	13
8. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	18
9. ПРИЛОЖЕНИЯ	20
10. ЛИТЕРАТУРА.....	23

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Методика описывает поверочный расчет балочных бескомпенсаторных наземных переходов газопроводов при пересечении естественных и искусственных препятствий при установленных в результате диагностического обследования параметрах.

1.2 Методика разработана в соответствии и с учетом требований:

1.2.1 ВРД 39-1.10-016-2000 «Методика оценки работоспособности балочных переходов магистральных газопроводов через малые реки, ручьи и другие препятствия»;

1.2.2 СТО Газпром 2-2.1-249-2008 «Магистральные газопроводы»;

1.2.3 СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы»;

1.2.4 ВРД 39-1.10-026-2001 «Методика оценки фактического положения и состояния подземных газопроводов».

2 КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЕХОДА

2.1 При пересечении газопроводом мелких рек, балок, оврагов и других, естественных препятствий используются надземные балочные переходы однопролетные без установки компенсирующих устройств для компенсации продольных деформаций. Самокомпенсация продольных деформаций от изменения температуры, внутреннего давления и т.д. в таких системах прокладки обеспечивается за счет дополнительных прогибов газопровода в вертикальной плоскости и сжатия материала труб (7).

2.2 Конструкция однопролетного балочного перехода без компенсации продольных деформаций представлена на рис.1.

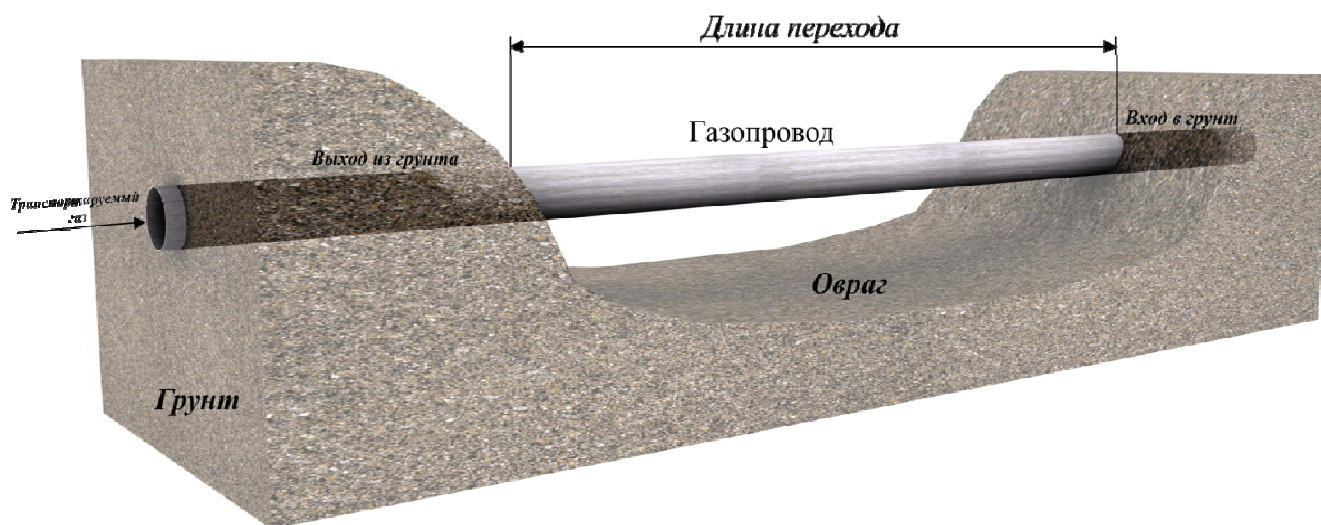


Рис. 2.1 Конструкция однопролетного балочного перехода. Общий вид

3 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ПЕРЕХОДА

3.1 Поверочный расчет надземного перехода на прочность выполняется по методу допускаемых напряжений, которые определяются как произведение нормативного минимального предела текучести (σ_y) и нормативного минимального предела прочности (σ_u) материала труб на соответствующие расчетные коэффициенты (F_y, F_u, F_{eq}, Ψ_3).

3.2 Расчетные коэффициенты

3.2.1 Значения расчетных коэффициентов F_y, F_u для проверки кольцевых напряжений (σ_h) принимаются по таблице 3.1.

Таблица 3.1

ЗНАЧЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В СООТВЕТСТВИИ ОТ КАТЕГОРИИ УЧАСТКА ГАЗОПРОВОДА

Категория участка газопровода		Расчетные коэффициенты				
СТО Газпром 2-2.1-249-2008	СНиП 2.05.06-85*	F_y	F_u	F_{eq}	m	k_n
Н	III-IV	0.72	0.63	0.9	0,9	1,05
С	I-II	0.6	0.52			
В	В	0.5	0.43			

3.2.2 Значение расчетного коэффициента для проверки продольных (σ_l) и эквивалентных напряжений (σ_{eq}) принимается для газопровода в эксплуатации равным $F_{eq} = 0,9$.

3.2.3 Значения расчетного коэффициента Ψ_3 для проверки изгибных напряжений (σ_M) принимается по формуле 3.1.

$$\Psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{\frac{\sigma_h}{m}}{\frac{0,9k_n}{0,9k_n} \sigma_y} \right)^2} - 0,5 \frac{\frac{\sigma_h}{m}}{\frac{0,9k_n}{0,9k_n} \sigma_y} \quad (3.1)$$

3.3 Условия прочности

3.3.1 Условие прочности для кольцевых напряжений выполняется, если кольцевые напряжения удовлетворяют условию

$$\sigma_h \leq \min\{F_y \sigma_y; F_u \sigma_u\} \quad (3.2)$$

3.3.2 Условие прочности для продольных и эквивалентных напряжений

$$\sigma_l \leq F_{eq} \sigma_y, \text{ если } \sigma_l \geq 0 \quad (3.3)$$

$$\sigma_{eq} \leq F_{eq} \sigma_y, \text{ если } \sigma_l < 0 \quad (3.4)$$

3.3.3 Условие прочности для изгибных напряжений

$$\sigma_M \leq 0,635 R_2 (1 + \Psi_3) \sin \frac{\left(\frac{N_0}{A} + \Psi_3 R_2 \right) \pi}{(1 + \Psi_3) R_2} \quad (3.5)$$

4 НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

4.1 При расчете прочности перехода учитываются функциональные и природные нагрузки и воздействия.

Функциональные нагрузки включают:

1. Внутреннее давление;
2. Температурные воздействия;
3. Весовые нагрузки;
4. Упругий изгиб газопровода.

Природные нагрузки включают:

1. Ветровые нагрузки;
2. Нагрузки от снега или обледенения.

4.2 Внутреннее давление в газопроводе P_d , МПа принимается по формуле:

$$P_d = 1,1p \quad (4.1)$$

4.3 Температурный перепад в металле стенок труб перехода принимается равным разнице между максимальной и минимальной возможной температурой стенок в процессе эксплуатации ΔT , °С.

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} \quad (4.2)$$

4.4 Весовые нагрузки определяются с учетом веса труб, транспортируемого продукта, изоляционного, теплоизоляционного покрытий.

4.4.1 Весовая нагрузка от собственного веса труб q_{wgt} , МН/м.

$$q_{wgt} = 7,85 \cdot 10^3 A g \quad (4.3)$$

4.4.2 Нагрузка от веса изоляционного покрытия q_{ins} , МН/м.

$$q_{ins} = \frac{\pi}{4} (D_{ins}^2 - D^2) \gamma_{ins} g \quad (4.4)$$

4.4.3 Нагрузка от веса теплоизоляционного покрытия q_{tp} , МН/м.

$$q_{tp} = \frac{\pi}{4} (D_{tp}^2 - D^2) \gamma_{tp} g \quad (4.5)$$

4.4.4 Нагрузка от веса перекачиваемого газа q_{gas} , МН/м.

$$q_{gas} = 10^2 p D_i^2 \quad (4.6)$$

4.4.5 Нагрузки от упругого изгиба газопровода. Вычисляется величина стрелы прогиба перехода $f_{изм}$ (м) по данным геодезической диагностики оси перехода.

$$f_{изм} = f_2 - f_1 + \frac{f_1 - f_3}{2} = f_2 - f_3 - \frac{f_1 - f_3}{2} \quad (4.7)$$

где, f_1, f_2, f_3 измеренные высоты газопровода.

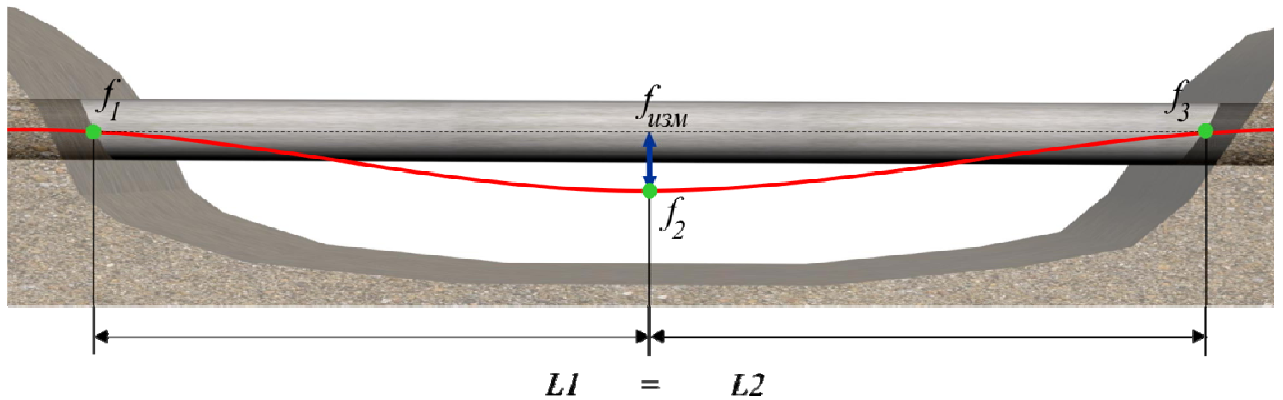


Рис. 4.1 Схема стрелы прогиба по данным геодезической высотной съемки

4.5 Ветровая нагрузка вычисляется как горизонтальная погонная нагрузка от статического действия ветра q_{sta}^H , МН/м.

$$q_{sta}^H = (w_m + w_p)D_{tp} \quad (4.8)$$

Порядок расчета ветровой нагрузки приводится в Приложении 9.

4.6 Вертикальная нагрузка от веса снега или обледенения q_{si} , МН/м.

$$q_{si} = \max\{q_s; q_i\} \quad (4.9)$$

4.6.1 Нагрузка от снега.

$$q_s = 0,4s_0D_{tp} \quad (4.10)$$

4.6.2 Нагрузка от обледенения.

$$q_i = 1,7 \cdot 10^4 b D_{tp} \quad (4.11)$$

Порядок расчета нагрузки от веса снега или обледенения приводится в Приложении 9.

5 ПОРЯДОК ПРОЧНОСТНОГО ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА

5.1 Расчетная схема однопролетного балочного перехода без компенсации продольных деформаций изображена на рис. 5.1.

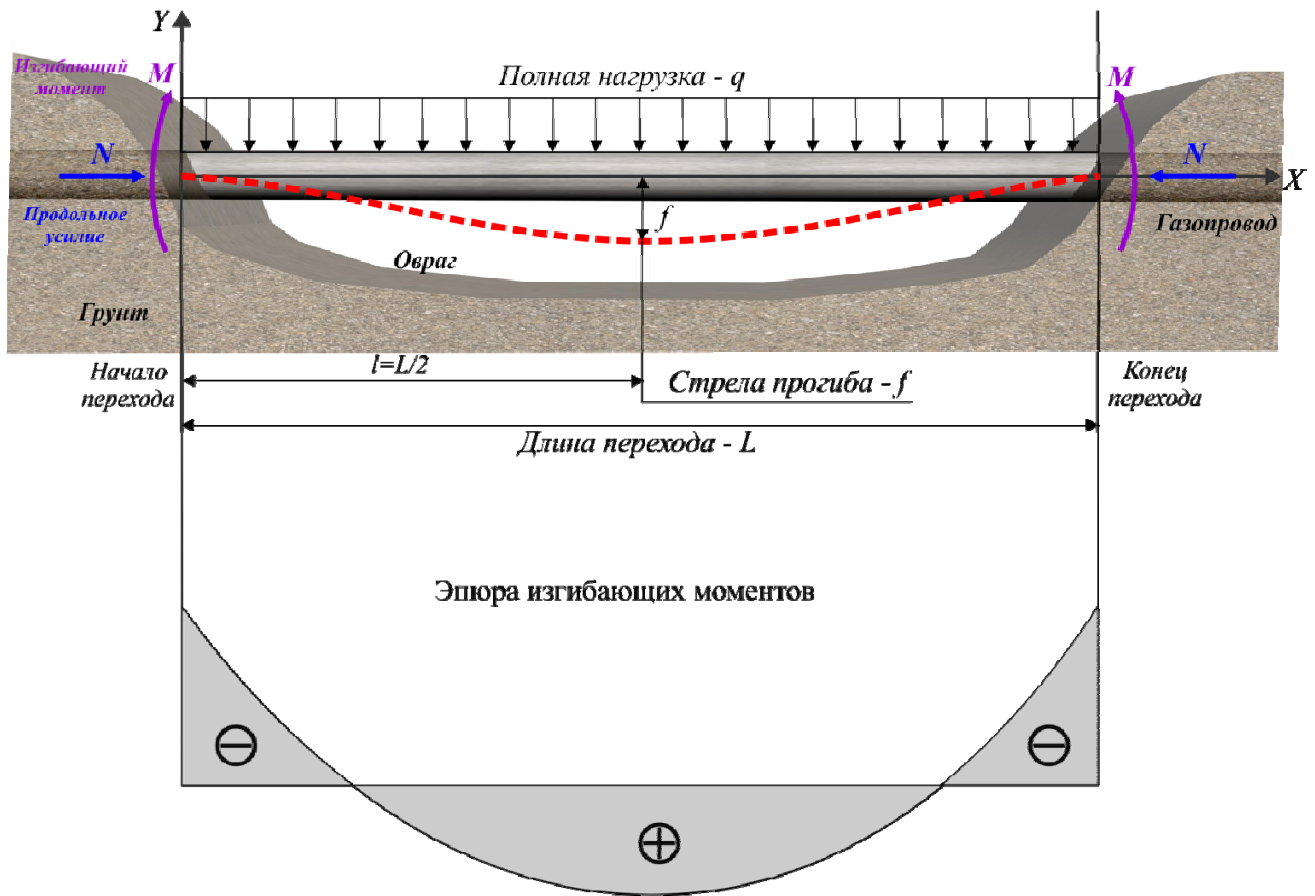


Рис.5.1 Расчетная схема однопролетного бескомпенсаторного перехода и эпюра изгибающих моментов

5.2 Данные для расчета

Исходные данные и технические характеристики перехода, необходимые для расчета представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

ДАННЫЕ ДЛЯ ПОВЕРОЧНОГО ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА

№	Наименование	Условное обозначение	Единица измерения
1	Длина надземного перехода	L	м
2	Категория газопровода	H, C, B	-
3	Диаметр наружный	D	м
	Диаметр внутренний	D_i	
4	Толщина стенки номинальная	t_n	м
5	Минимальная толщина стенки по данным диагностики	t_{min}	м
6	Температурный перепад	ΔT	°C
7	Рабочее давление	p	МПа
8	Плотность изоляционного покрытия	γ_{ins}	кг/м ³
9	Толщина изоляционного покрытия	t_{ins}	м

№	Наименование	Условное обозначение	Единица измерения
10	Плотность теплоизоляционного материала	γ_{tp}	кг/м ³
11	Толщина теплоизоляционного покрытия	t_{tp}	м
12	Величина стрелы прогиба	Нс	м
13	Радиус упругого изгиба	Rпр	м
14	Модуль упругости = 206000	E	МПа
15	Коэффициент Пуассона = 0,3	μ	-
16	Коэффициент линейного расширения = $1,2 \cdot 10^{-5}$	α	(°C) ⁻¹
17	Нормативный минимальный предел текучести	σ_y	МПа
18	Нормативный минимальный предел прочности	σ_u	МПа
19	Измеренная стрела прогиба	$f_{изм}$	м

5.3 Порядок расчета

4.3.1 Расчет полной нагрузки на переход q , МН

$$q = q_{wgt} + q_{ins} + q_{tp} + q_{gas} + q_{sta}^H + q_{si} \quad (5.1)$$

4.3.2 Расчет момент инерции I , м⁴

$$I = \frac{\pi(D^4 - D_i^4)}{64} \quad (5.2)$$

4.3.3 Расчет стрелы прогиба перехода от полной нагрузки f_q , м

$$f_q = \frac{1}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI} \quad (5.3)$$

4.3.4 Расчет давления в газопроводе P_d , МПа

$$P_d = 1.1p \quad (5.4)$$

4.3.5 Расчет кольцевых напряжений от внутреннего давления при нормативной толщине стенки труб газопровода σ_h , МПа

$$\sigma_h = \frac{P_d D}{2t_n} \quad (5.5)$$

4.3.6 Расчет кольцевых напряжений от внутреннего давления при минимальной измеренной толщине стенки труб газопровода σ_h , МПа

$$\sigma_h^i = \frac{P_d D}{2t_{min}} \quad (5.6)$$

4.3.7 Расчет площади поперечного сечения трубы (стали) A , м²

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_i^2) \quad (5.7)$$

4.3.8 Расчет продольного усилия, действующего в газопроводе N_0 , МН.

$$N_0 = \mu \sigma_h^i A - \alpha E A \Delta T \quad (5.8)$$

4.3.9 Критическая (Эйлера) сила $N_{кр}$, МН.

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(0.6L)^2} \quad (5.9)$$

При $|N_0| \geq |N_{кр}|$ расчет теряет смысл, прочность перехода не обеспечена.

4.3.10 Расчет коэффициента ξ .

$$\xi = \frac{N_0}{N_{кр}} \quad (5.10)$$

4.3.11 Расчетная стрела прогиба, вызванная полной нагрузкой с учетом коэффициента ξ .

При $\xi > 0$, когда продольное усилие N_0 отрицательно (сжимающее), расчетная стрела прогиба перехода f_ϕ увеличивается по отношению к f_q . При $\xi < 0$, когда продольное усилие N_0 положительно (растягивающее) расчетная стрела прогиба f_ϕ уменьшается по отношению к f_q .

$$f_\phi = \frac{f_q}{(1 - \xi)} \quad (5.11)$$

4.3.12 Расчетная стрела прогиба сравнивается с измеренной стрелой прогиба перехода. Для дальнейших расчетов принимается максимальная стрела прогиба.

$$f_{пр} = \max\{f_{изм}; f_\phi\} \quad (5.12)$$

4.3.13 Расчет изгибающего момента в наиболее напряженном опорном сечении от действия расчетной нагрузки M_1 , МН·м.

$$M_1 = \frac{qL^2}{12} \quad (5.13)$$

4.3.14 Расчет изгибающего момента от действия продольной силы M_2 , МН·м.

$$M_2 = N_0 f_{пр} \quad (5.14)$$

4.3.15 Расчет суммарного изгибающего момента M , МН·м.

$$M = M_1 + M_2 \quad (5.15)$$

4.3.16 Расчет момента сопротивления W , м³.

$$W = \frac{2I}{D} \quad (5.16)$$

4.3.17 Расчет максимальных изгибных напряжений σ_M , МПа.

$$\sigma_M = \frac{M}{W} \quad (5.17)$$

4.3.18 Расчет продольного осевого напряжения σ_l , МПа.

$$\sigma_l = \frac{N_0}{A} \pm \frac{M}{W} \quad (5.18)$$

4.3.19 Расчет касательного напряжения τ , МПа.

$$\tau = \frac{M}{2W} + \frac{2Q}{A} \quad (5.19)$$

4.3.20 Расчет эквивалентного напряжения σ_{eq} , МПа.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_h^2 - \sigma_h \sigma_l + \sigma_l^2 + 3\tau^2} \quad (5.20)$$

4.3.21 Расчет нормативных суммарных продольных напряжений $\sigma_{пр}^H$, МПа.

$$\sigma_{пр}^H = \frac{1}{2} \sigma_h \pm \frac{M}{W} \quad (5.21)$$

4.3.22 Расчет коэффициента двухосного напряженного состояния металла труб газопровода.

$$\Psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{\sigma_h}{\frac{m}{0,9k_H} \sigma_y} \right)^2} - 0,5 \frac{\sigma_h}{\frac{m}{0,9k_H} \sigma_y} \quad (5.22)$$

4.3.23 Расчет сопротивления растяжению (сжатию) R_2 , МПа.

$$R_2 = \frac{\sigma_y m}{k_2 k_H} \quad (5.23)$$

4.3.24 Расчет допускаемого изгибного напряжения $\sigma_M^{\text{доп}}$, МПа.

$$\sigma_M^{\text{доп}} = 0,635 R_2 (1 + \Psi_3) \sin \frac{\left(\frac{N_0}{A} + \Psi_3 R_2 \right) \pi}{(1 + \Psi_3) R_2} \quad (5.24)$$

5.4 Результаты расчета

Расчетные напряжения сравниваются с допустимыми, и результаты сводятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРОЧНОГО ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ПЕРЕХОДА

№	Наименование условия	Допустимое	Выполнение условия	Расчетное
1	Расчетные кольцевые напряжения	$\min\{F_y \sigma_y; F_u \sigma_u\}$	$\geq$	σ_h
2	Расчетные продольные напряжения	$F_{eq} \sigma_y$		σ_l
3	Расчетные эквивалентные напряжения	$F_{eq} \sigma_y$		σ_{eq}
4	Расчетные изгибные напряжения	$\sigma_M^{\text{доп}}$		σ_M

По результатам поверочного прочностного расчета делается вывод о соответствии (либо не соответствии) балочного бескомпенсаторного наземного перехода условиям прочности в соответствии с СТО Газпром 2-2.1-249-2008, СНиП 2.05.06-85*.

6 РАСЧЕТНАЯ ПРОГРАММА

6.1 Методика поверочного расчета балочного бескомпенсаторного наземного перехода реализована в компьютерной программе «ПЕРЕХОД-НБ-1». Скриншот программы представлен на рис. 6.1.

Рис. 6.1 Главное окно программы «ПЕРЕХОД-НБ-1»

6.2 В главном окне программы вводят основные технические параметры перехода, данные для расчета действующих нагрузок.

6.3 Расчет нагрузок по введенным данным производится нажатием кнопки «Рассчитать нагрузки». В результате на экране появится «Таблица результатов расчета нагрузок». Проверить правильность расчета, при необходимости скорректировать данные и повторным нажатием кнопки пересчитать нагрузки. Скриншот «Таблица результатов расчета нагрузок» представлен на Рис. 6.2.

Условное обозначение	Наименование	Значение	Единицы измерения
Pd	Расчетное давление	8,25	МПа
dT	Температурный перепад	60	град С
q wgt	Нагрузка от веса труб	5596,828074863...	Н/м
q ins	Нагрузка от веса изоляции	Нет	Н/м
q tp	Нагрузка от веса теплоизоляции	Нет	Н/м
q gas	Нагрузка от веса	1442,82675	Н/м
q вес	Весовая нагрузка	7039,654824863...	Н/м
q sta	Ветровая нагрузка	315,88752	Н/м
q si	Нагрузка от снега или льда	1022,4	Н/м
q	Полная нагрузка на переход	8377,942344863...	Н/м
f изм	Измеренная стрела прогиба	-0,060000000000...	м
Rnp	Радиус упругого изгиба	8533,363333333...	м
*			

Рис. 6.2 Таблица результатов расчета нагрузок

6.4 Поверочный расчет перехода нажатием кнопки «Поверочный расчет». По результатам расчета формируются «Таблица результатов расчета» рис. 6.3 со значениями всех расчетных параметров и «Таблица выполнения условий прочности» рис. 6.4. с результатами расчета.

Условное обозначение	Наименование	Значение	Единицы измерения
q	Полная нагрузка	8379	Н/м
I	Момент инерции	0,017916001948...	м ⁴
f q	Расчетная стрела прогиба	0,006080589153...	м
Pd	Расчетное давление	8,25	МПа
s h	Кольцевое напряжение при номинальных толщинах	355	МПа
s hi	Кольцевое напряжение при измеренных толщинах	355	МПа
A	Площадь поперечного сечения трубы	0,072752217273...	м ²
N 0	Продольное усилие	-3,252024112133	МН
Nкр	Критическая сила	100,7297332190...	МН
K e	Коэффициент	-0,03228464931...	-
f ф	Стрела прогиба скорректированная	0,005890419040...	м
f пр	Максимальная стрела прогиба	0,060000000000...	м
M1	Изгибающий момент в опорном сечении	-0,71491774676...	МН*м
M2	Изгибающий момент от действия продольной силы	-0,19512144672...	МН*м
M	Суммарный изгибающий момент	-0,91003919348...	МН*м
W	Момент сопротивления	0,025233805561...	м ³
s M	Максимальные изгибные напряжения	-36,0642865087...	МПа
s l	Продольное осевое напряжение	-80,7642865087...	МПа
t	Касательное напряжение	-17,8018288348...	МПа
s eq	Эквивалентное напряжение	402,7032493232...	МПа
s пр n	Нормативные суммарные продольные напряжения	141,4357134912...	МПа
Phi 3	Коэффициент деформационного напряженного состояния	0,224575661854...	-
R2	Расчетное сопротивление растяжению (сжатию)	319,8487712665...	-
s M доп	Допускаемое изгибное напряжение	53,63630988404...	МПа
s доп h	Допускаемое кольцевые напряжения	378	МПа
s доп E q	Допускаемое продольные и эквивалентные напряжения	423	МПа
*			

Рис. 6.3 Таблица результатов расчета прочности

Условие прочности	Допустимое значение	У	Расчетное значение	Выполнение условия
Условие прочности для кольцевых напряжений	378 МПа	>=	355 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для продольных напряжений	423 МПа	>=	80 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для эквивалентных напряжений	423 МПа	>=	402 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для изгибных напряжений	53 МПа	>=	36 МПа	Удовлетворяет

Рис. 6.3 Таблица выполнения условий прочностного расчета

6.5 Данные расчета сохраняются на диске компьютера в формате XML и могут быть прочитаны. Данные в формате XML могут быть импортированы, и обработаны в программе EXCEL.

6.6 Результаты расчетов переносятся в таблицы отчета и протокола. Для этого таблица выделяется курсором мыши, копируется клавишами Ctrl+Ins. В документ Word в готовую таблицу отчета или протокола специальной вставкой неформатированного текста.

7 ОТЧЕТ И ПРОТОКОЛ

7.1 Раздел отчета

11 ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, ПОВЕРОЧНЫЙ ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ПЕРЕХОДА

11.1 Поверочный расчет на прочность и устойчивость балочного безкомпенсаторного наземного перехода на газопроводе «Помары - Ужгород» на 1893 км проводился в соответствии с **СТО Газпром 2-2.1-249-2008** «Магистральные газопроводы» по методу допускаемых напряжений. Методика расчета и подробные результаты приведены в Протоколе № 5. Результаты поверочного прочностного расчета приведены в таблице 11.1 и графике 11.1.

Таблица 11.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРОЧНОГО ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА

Условия прочности	Допустимые напряжения	Зависимость	Расчетные напряжения	Результат расчета
Условие прочности для кольцевых напряжений	378 МПа	$\geq$	355 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для продольных напряжений	423 МПа	$\geq$	80 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для эквивалентных напряжений	423 МПа	$\geq$	402 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для изгибных напряжений	53 МПа	$\geq$	36 МПа	Удовлетворяет

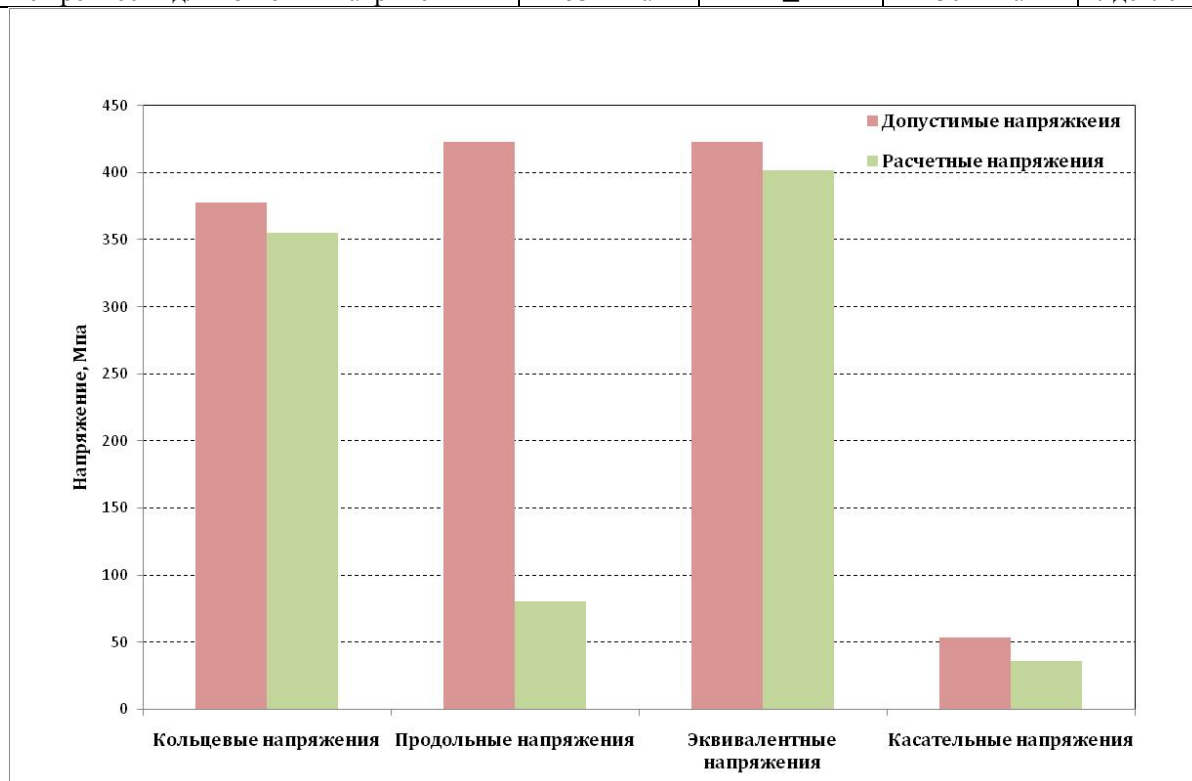


Рис. 11.1 График выполнения условий прочностного расчета

11.2 Заключение

11.2.1 Проведена оценка напряженно – деформированного состояния наземного перехода при рабочих параметрах транспортировки газа и реально действующих нагрузках.

11.2.2 По результатам поверочного прочностного расчета все условия по методу допускаемых выполнены. **Прочность и устойчивость** балочного безкомпенсаторного наземного перехода на газопроводе «Помары - Ужгород» на 1893 км **обеспечена**.

11.3 Рекомендации

11.3.1

7.2 Протокол расчета

Приложение 5

Протокол по результатам поверочного прочностного расчета

Наименование лаборатории НК
Свидетельство об аттестации № 52A010932

Наименование объекта: Наземный балочный переход через овраг на 1893 км
Название трассы: Воронежское УМГ МГ Помары-Ужгород
Участок газопровода, километраж: 1893 км
Наименование организации Подрядчика:
Наименование организации Заказчика:

ПРОТОКОЛ № ПР-1-1
от 23 ноября 2011 года
по расчетам на прочность и устойчивость

1.1 Поверочный расчет на прочность и устойчивость балочного безкомпенсаторного наземного перехода на газопроводе «Помары - Ужгород» на 1893 км проводился в соответствии с СТО Газпром 2-2.1-249-2008 «Магистральные газопроводы» по «Методике поверочного прочностного расчета балочных однопролетных безкомпенсаторных наземных переходов газопроводов по результатам диагностического обследования» № М-0010-РПП-2010.

Таблица 1.1

Технические параметры перехода

Условное обозначение	Наименование	Значение	Единицы измерения
L	Длина перехода	32	м
-	Категория газопровода	Н (III-IV)	-
p	Рабочее давление	7,5	МПа
Tmax	Максимальная температура эксплуатации	60	град С
Tmin	Минимальная температура эксплуатации	0	град С
D	Диаметр наружный	1,42	м
tn	Толщина номинальная	16,5	мм
tmin	Толщина измеренная минимальная	16,5	мм
	Марка стали	17Г1СУ	-
s y	Предел текучести	470	МПа
s u	Предел прочности	600	МПа
E	Модуль Юнга	210000	МПа
m	Коэффициент Пуассона	0,3	-
a	Коэффициент линейного расширения	1,2E-05	град С ⁻¹
y ins	Плотность изоляции	Неопределенно	кг/м ³
t ins	Толщина изоляции	Неопределенно	м
y tp	Плотность теплоизоляции	Неопределенно	кг/м ³
t tp	Толщина теплоизоляции	Неопределенно	м
-	Ветровой район	I	-
-	Тип местности	A	-
-	Снеговой район	III	-
-	Гололедный район	II	-

Таблица 1.2

Результаты расчета нагрузок

Условное обозначение	Наименование	Значение	Единицы измерения
Pd	Расчетное давление	8,25	МПа
dT	Температурный перепад	60	град С
q wgt	Нагрузка от веса труб	5596	Н/м
q ins	Нагрузка от веса изоляции	Нет	Н/м
q tp	Нагрузка от веса теплоизоляции	Нет	Н/м
q gas	Нагрузка от веса	1442,82675	Н/м
q вес	Весовая нагрузка	7039,	Н/м
q sta	Ветровая нагрузка	315,88752	Н/м
q si	Нагрузка от снега или льда	1022,4	Н/м
q	Полная нагрузка на переход	8377,94234486335	Н/м
f изм	Измеренная стрела прогиба	-0,060	м
Rпр	Радиус упругого изгиба	8533,3	м

Таблица 1.3

Результаты расчета напряжений

Условное обозначение	Наименование	Значение	Единицы измерения
q	Полная нагрузка	8378	Н/м
I	Момент инерции	0,017	м ⁴
f q	Расчетная стрела прогиба	0,006	м
Pd	Расчетное давление	8,25	МПа
s h	Кольцевое напряжение при номинальных толщинах	355	МПа
s hi	Кольцевое напряжение при измеренных толщинах	355	МПа
A	Площадь поперечного сечения трубы	0,072	м ²
N 0	Продольное усилие	-3,252	МН
Nкр	Критическая сила	100,729	МН
K e	Коэффициент	-0,0322	-
f ф	Стрела прогиба скорректированная	0,0058	м
f пр	Максимальная стрела прогиба	0,06	м
M1	Изгибающий момент в опорном сечении	-0,7149	МН*м
M2	Изгибающий момент от действия продольной силы	-0,195	МН*м
M	Суммарный изгибающий момент	-0,91	МН*м
W	Момент сопротивления	0,025	м ³
s M	Максимальные изгибные напряжения	-36,064	МПа
s l	Продольное осевое напряжение	-80,7642	МПа
r	Касательное напряжение	-17,8	МПа
s eq	Эквивалентное напряжение	402,7	МПа
s пр н	Нормативные суммарные продольные напряжения	141,43	МПа
Фи 3	Коэффициент двухосного напряженного состояния	0,224	-
R2	Расчетное сопротивление растяжению (сжатию)	319,848	-
s M доп	Допускаемое изгибное напряжение	53,696	МПа
s доп h	Допускаемое кольцевые напряжения	378	МПа
s доп Eq	Допускаемое продольные и эквивалентные напряжения	423	МПа

Таблица 1.4

Результаты расчета условий прочности

Условия прочности	Допустимые напряжения	Зависимость	Расчетные напряжения	Результат расчета
Условие прочности для кольцевых напряжений	378 МПа	$\geq$	355 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для продольных напряжений	423 МПа	$\geq$	80 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для эквивалентных напряжений	423 МПа	$\geq$	402 МПа	Удовлетворяет
Условие прочности для изгибных напряжений	53 МПа	$\geq$	36 МПа	Удовлетворяет

1.2. Заключение

1.2.1 Проведена оценка напряженно – деформированного состояния наземного перехода при рабочих параметрах транспортировки газа и реально действующих нагрузках.

1.2.2 По результатам поверочного прочностного расчета все условия по методу допускаемых выполнены. **Прочность и устойчивость** балочного безкомпенсаторного наземного перехода на газопроводе «Помары - Ужгород» на 1893 км **обеспечена**.

Расчет выполнил _____ Иванов И.И. Специалист II уровня по

Заключение выдал _____ Иванов И.И. Специалист II уровня по

8 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Обозначение	Значение	Единица измерения
L	Длина наземной части перехода	м
p	Рабочее давление	МПа
P_d	Расчетное давление	МПа
ΔT	Температурный перепад	°С
$T_{\max}$	Максимальная температура эксплуатации	°С
$T_{\min}$	Минимальная температура эксплуатации	°С
D	Наружный диаметр газопровода	м
D_i	Внутренний диаметр газопровода	м
D_{ins}	Диаметр газопровода с учетом толщины изоляции	м
D_{tp}	Диаметр газопровода с учетом толщины теплоизоляции	м
t_n	Толщина стенки труб номинальная	м
$t_{\min}$	Толщина стенки труб минимальная измеренная	м
A	Площадь поперечного сечения трубы (стали)	м ²
g	Ускорение свободного падения	м/с ²
γ_{ins}	Плотность изоляции	кг/м ³
γ_{tp}	Плотность теплоизоляции	кг/м ³
q_{wgt}	Нагрузка от собственного веса трубы	МН/м
q_{ins}	Нагрузка от веса изоляции	МН/м
q_{tp}	Нагрузка от веса теплоизоляции	МН/м
q_{gas}	Нагрузка от веса перекачиваемого газа	МН/м
q_{sta}^H	Ветровая нагрузка	МН/м
w_m	Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки	-
w_p	Нормативная пульсирующая составляющая ветровой нагрузки	-
q_{si}	Нагрузка от снега или обледенения	МН/м
q_s	Нагрузка от снега	МН/м
q_i	Нагрузка от обледенения	МН/м
s_0	Нормативное значение распределенного веса снега	МН/м ²
b	Толщина слоя гололеда	м
q	Полная расчетная нагрузка	МН/м
σ_y	Нормативный предел текучести	МПа
σ_u	Нормативный предел прочности	МПа
σ_h	Кольцевое напряжение	МПа
σ_l	Продольное напряжение	МПа
σ_{eq}	Эквивалентное напряжение	МПа
σ_M	Напряжение от изгиба	МПа
σ_h^i	Кольцевое напряжение с учетом минимальной измеренной толщины стенки трубы	МПа
τ	Касательное напряжение	МПа
$\sigma_{\text{пр}}^H$	Нормативное продольное напряжение	МПа
R_2	Расчетный предел текучести	МПа
k_2	Коэффициент надежности по материалу	-
$\sigma_M^{\text{доп}}$	Допустимое напряжение изгиба	МПа
I	Момент инерции сечения трубы	м ⁴
W	Момент сопротивления	м ³
M	Суммарный изгибающий момент	МН*м

Обозначение	Значение	Единица измерения
M_1	Изгибающий момент в опорном сечении	$МН^*м$
M_2	Изгибающий момент от действия продольной силы	$МН^*м$
N_0	Продольное усилие	$МН$
$N_{кр}$	Критическая (Эйлера) сила	$МН$
ξ	Коэффициент пропорциональности	-
E	Модуль упругости (Юнга) = 206000	$МПа$
μ	Коэффициент Пуассона = 0.3	-
α	Коэффициент линейного расширения = $1.2 \cdot 10^{-5}$	$(^{\circ}C)^{-1}$
F_y	Расчетный коэффициент по пределу текучести	-
F_u	Расчетный коэффициент по пределу прочности	-
F_{eq}	Расчетный коэффициент для продольных и эквивалентных напряжений	-
Ψ_3	коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб	-
m	Коэффициент условий работы газопровода	-
k_n	Коэффициент надежности по назначению газопровода	-
$f_{изм}$	Измеренная стрела прогиба	$м$
f_1	Измеренная высота в начале перехода	$м$
f_2	Измеренная высота в центре перехода	$м$
f_3	Измеренная высота в конце перехода	$м$
f_q	Расчетная стрела прогиба	$м$
f_{ϕ}	Расчетная скорректированная стрела прогиба	$м$

9 ПРИЛОЖЕНИЯ

9.1 Ветровая нагрузка

9.1.1 Ветровая нагрузка рассчитывается в соответствии с СНиП 2.01.07-85. Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли определяется по формуле:

$$w_m = w_0 k c, \text{ где}$$

w_0 – нормативное значение ветрового давления;

k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

c – аэродинамический коэффициент 0,8.

Значение w_0 принимается в соответствии с Таблицей 9.1. Ветровые районы принимаются по карте рис. 9.1.

Таблица 9.1

ЗНАЧЕНИЕ w_0 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕТРОВОГО РАЙОНА

Ветровые районы РФ	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
w_0 , кПа (кгс/м ²)	0.17 (17)	0.23 (23)	0.3 (30)	0.38 (38)	0.48 (48)	0.6 (60)	0.73 (73)	0.85 (85)

Значение коэффициента k принимается в соответствии с Таблицей 9.2.

Таблица 9.2

ЗНАЧЕНИЕ k В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА МЕСТНОСТИ

Высота z , м	Коэффициент k		
	Тип местности		
	A открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра	B городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м	C городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м
≤ 5	0.75	0.5	0.4
10	1.0	0.65	0.4

9.1.2 В соответствии с п. 6.7 СНиП 2.01.07-85 нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p на высоте над поверхностью земли определяется по формуле:

$$w_p = w_m \zeta \nu$$

ζ – коэффициент пульсаций давления ветра на уровне z , принимаемый по Таблице 9.3.

Таблица 9.3

ЗНАЧЕНИЕ ζ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА МЕСТНОСТИ

Высота z , м	Коэффициент ζ		
	Типы местности		
	A открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра	B городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м	C городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м
≤ 5	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78

ν – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра
принять по Таблице 9.4.

Таблица 9.4

ЗНАЧЕНИЕ ν В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ПЕРЕХОДА

	Длина перехода, м						
	0.1	5	10	20	40	80	160
ν	0.95	0.89	0.85	0.8	0.72	0.63	0.53



Рис.9.1 Ветровые районы Российской Федерации

9.2 Снеговая нагрузка

Снеговая нагрузка рассчитывается в соответствии с СНиП 2.01.07-85. Нагрузка от снега определяется по формуле:

$$q_s = 0,4s_0D_{tp}$$

s_0 – нормативное значение распределенного веса снегового покрова, принимаемое по таблице 9.5. Снеговой район определяется по карте Рис. 9.2.

Таблица 9.4

ЗНАЧЕНИЕ s_0 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СНЕГОВОГО РАЙОНА

Снеговые районы РФ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
s_0 , кПа (кгс/м ²)	0,8 (80)	1,2 (120)	1,8 (180)	2,4 (240)	3,2 (320)	4,0 (400)	4,8 (480)	5,6 (560)



Рис. 9.2 Снеговые районы Российской Федерации

9.3 Нагрузка от обледенения

Нагрузка от обледенения рассчитывается в соответствии с СНиП 2.01.07-85. Нагрузка от снега определяется по формуле:

$$q_i = 1,7 \cdot 10^4 b D_{tr}$$

b – толщина слоя гололеда, принимаемая по Таблице 9.5. Гололедный район определяется по карте Рис. 9.3.

Таблица 9.5

ЗНАЧЕНИЕ b В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОЛОЛЕДНОГО РАЙОНА

Гололедные районы РФ	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололеда b , мм	3	5	10	15	20

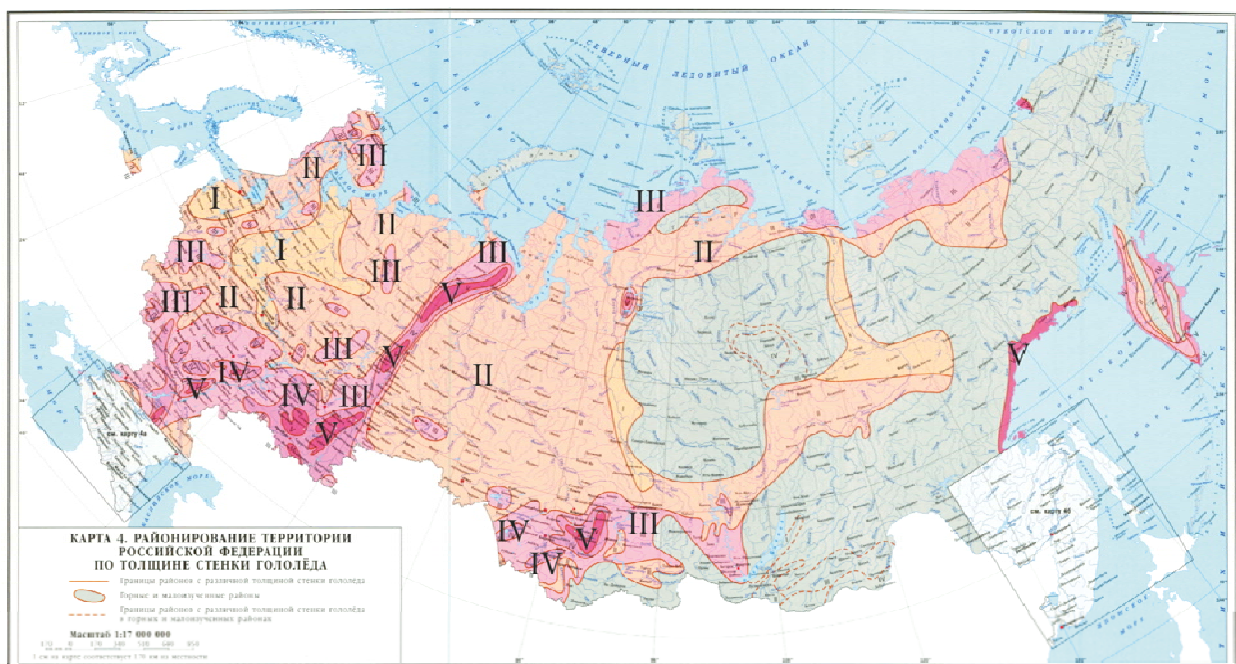


Рис. 9.3 Гололедные районы Российской Федерации

10 ЛИТЕРАТУРА

1. ВРД 39-1.10-016-2000 «Методика оценки работоспособности балочных переходов магистральных газопроводов через малые реки, ручьи и другие препятствия».
2. СТО Газпром 2-2.1-249-2008 «Магистральные газопроводы».
3. СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы».
4. ВРД 39-1.10-026-2001 «Методика оценки фактического положения и состояния подземных газопроводов».
5. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».
6. Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. Справочное пособие. М., Недра, 1982, 341 с.
7. Бабин Л.А., Григоренко П.Н., Ярыгин Е.Н. Типовые расчеты при сооружении трубопроводов: Учеб.пособ. для вузов. М., Недра, 1995, 246 с.
8. Петров И.П., Спиридонов В.В., Наземная прокладка трубопроводов, М., Недра, 1973.
9. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. М., Энергоатомиздат, 1990, 368 с.