

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШАГА ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛЯ ГАЗОПРОВОДА НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА РАДИУСОВ ИЗГИБА ЕГО ОСИ

А.С.Кузьбожев¹, И.Н.Бирилло*¹, М.М.Бердник²

¹Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Ухта, Россия

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия

Study of the Influence of the Measurement Interval of a Gas Pipeline Profile on the Computational Accuracy of the Bending Radii of Its Axis

A.S.Kuzbozhev¹, I.N.Birillo¹, M.M.Berdnik²

¹Gazprom VNIIGAZ, Ukhta Branch Office, Uhta, Russia;

²Ukhta State Technical University, Uhta, Russia

Abstract

During the operation of main pipelines, it is possible to change the initial position of the pipe and the occurrence of bending stresses, which can make a significant contribution to the stress-strain state of the pipeline in operation. The accuracy of the determination of bending stresses and the conclusion about the pipeline section performance is ensured by the accuracy of the calculation of the bending radii of its axis. The results of the studies showed that increasing the interval between the control points used to calculate the bending radius of the axis of the pipeline increases the error in determining the actual bend radius. The most significant error in determining the radius of bending of the pipeline axis is observed in areas of small curvature and in points adjacent to such areas. When determining the bend radius, the interval between the points of control should be taken equal to 10 ... 20 m, the non-uniformity of interval between adjacent points should be minimal.

Keywords:

Pipeline;
Axis configuration;
Control points;
Step; Bending radius;
Bending stresses;
Accuracy of values.

© 2018 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Критерием работоспособности участка магистрального трубопровода является уровень его напряженно-деформированного состояния. При этом только в том случае, когда напряжения в стенках труб от действующих нагрузок и воздействий не превышают допустимых значений, эксплуатация трубопровода возможна с установленным уровнем надежности.

От совокупности действующих нагрузок и воздействий эксплуатирующиеся магистральные трубопроводы находятся в условиях объемного напряженного состояния, составляющими компонентами которого являются кольцевые ($\sigma_{кц}$), продольные ($\sigma_{пр}$) и радиальные (σ_r) напряжения. Функциональные зависимости для вышеназванных напряжений имеют вид:

$$\sigma_{кц} = f(p; d; D_n), \quad (1)$$

$$\sigma_{пр} = f(p; d; D_n; \Delta t; \rho), \quad (2)$$

$$\sigma_r = f(p), \quad (3)$$

где p – рабочее внутреннее давление, МПа; δ – толщина стенки трубы, м;

D_n – наружный диаметр трубопровода, м; Δt – температурный перепад, град; ρ – радиус изгиба оси трубопровода, м.

Степень опасности такого напряженного состояния оценивается по значению интенсивности напряжений (σ_i), определяемой по одной из существующих теорий прочности [1].

Специфической особенностью магистральных газопроводов является незначительная величина радиальных напряжений σ_r по сравнению с другими компонентами сложного напряженного состояния. Исходя из установленных норм на проектирование [2] доля радиальных напряжений σ_r в стенках газопроводных труб не превышает 4 % от уровня кольцевых напряжений $\sigma_{кц}$. По этой причине радиальные напряжения σ_r не учитываются в инженерных расчетах МГ, то есть рассматривается не объемное, а плоское напряженное состояние в каждой точке трубопровода. Интенсивность напряжений σ_i в этом случае, в соответствии с энергетической теорией прочности [1], вычисляется по формуле:

*E-mail: i.birillo@sng.vniigaz.gazprom.ru
<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180400370>

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\kappa u}^2 - \sigma_{\kappa u} \sigma_{np} + \sigma_{np}^2}. \quad (4)$$

При отсутствии у стенки трубы локальных дефектов кольцевые и продольные напряжения могут быть определены по следующим формулам:

$$\sigma_{\kappa u} = \frac{pD_{\text{вн}}}{2\delta}, \quad (5)$$

$$\sigma_{np} = \sigma_{p,\Delta t} \pm \sigma_u, \quad (6)$$

где $D_{\text{вн}} = D_n - 2\delta$ – внутренний диаметр трубопровода, м; p, D_n, δ – обозначения те же, что в формулах 1...3; $\sigma_{p,\Delta t}$ – продольные напряжения, возникающие в стенке трубы от внутреннего давления и температурного перепада, МПа; σ_u – максимальные напряжения изгиба, МПа, определяемые по формуле:

$$\sigma_u = \frac{E D_n}{2\rho}, \quad (7)$$

где E – модуль упругости металла труб, МПа; ρ – радиус изгиба оси трубопровода, м, определяемый по данным геодезической съемки его фактического положения [3].

При наличии аналитического выражения, описывающего профиль участка трубопровода, радиус изгиба в любом поперечном сечении определяется по формуле:

$$\rho = \frac{(\sqrt{1+(Y'(X))^2})^3}{|Y''(X)|}, \quad (8)$$

где $Y'(X), Y''(X)$ – соответственно первая и вторая производная выражения, описывающего профиль участка трубопровода.

При отсутствии аналитического выражения, описывающего профиль участка трубопровода, радиус изгиба может быть определен по следующей формуле:

$$\rho = \frac{\Delta s}{\Delta \varphi}, \quad (9)$$

где Δs – длина дуги DBE (рис. 1); $\Delta \varphi$ – изменение наклона касательной к кривой при переходе из точки D в точку E .

В связи с тем, что $h_1 \gg |Y_1 - Y_2|$ и $h_2 \gg |Y_2 - Y_3|$ можно принять $|AB| \approx h_1$; $|BC| \approx h_2$, а длину дуги DBE $\Delta s \approx h_1/2 + h_2/2$. Кроме того $\text{tg} \varphi_1 = (Y_1 - Y_2)/h_1$; $\text{tg} \varphi_2 = (Y_2 - Y_3)/h_2$ при малых углах $\text{tg} \varphi_1 \approx \varphi_1$; $\text{tg} \varphi_2 \approx \varphi_2$ и $\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

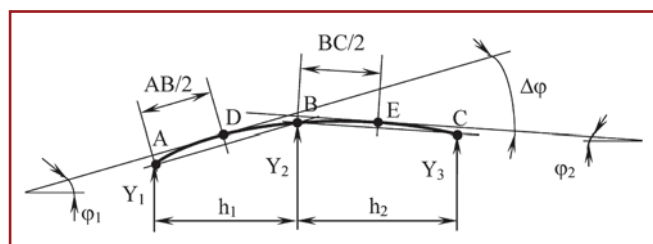


Рис.1. Параметры точек контроля, используемые для расчета минимального радиуса изгиба

Окончательное выражение для определения радиуса изгиба оси трубопровода по координатам трех соседних точек контроля может быть преобразовано к следующему виду:

$$\rho = \frac{h_1 + h_2}{2 \left(\frac{Y_1 - Y_2}{h_1} - \frac{Y_2 - Y_3}{h_2} \right)}, \quad (10)$$

где h_1, h_2 – расстояние между точками геодезической съемки, м; Y_1, Y_2, Y_3 – высотные отметки трубопровода в точках контроля № 1, № 2 и № 3, м.

Значения продольных напряжений $\sigma_{p,\Delta t}$, входящих в формулу (6), определяются параметрами, которые в полной мере учитываются на стадии проектирования объекта. Напряжения изгиба, входящие в вышеназванную формулу, могут вносить значительный вклад в напряженно-деформированное состояние трубопровода, при этом на стадии его проектирования это не учитывается, так как в процессе эксплуатации трубопровода не предполагается заметного изменения его проектного положения. Опыт эксплуатации магистральных трубопроводов показывает, что в процессе их работы начальное положение трубы может значительно изменяться, как правило, по причине нарушения устойчивости в продольном направлении и против всплытия. Таким образом, для эксплуатирующегося трубопровода достоверность определения именно изгибных напряжений обеспечивает достоверность заключения о работоспособности участка трубопровода.

Достоверность расчетных значений изгибных напряжений определяется достоверностью вычисления радиусов изгиба оси. В этой связи была выполнена оценка погрешности вычисления радиуса изгиба оси трубопровода по координатам трех соседних точек контроля, располагающихся на разных расстояниях друг от друга. При этом конфигурацию оси трубопровода задавали следующими функциональными зависимостями:

$$Y = 3 \cdot 10^{-8} X^4 - 9 \cdot 10^{-6} X^3 + 0.0008 X^2 - 0.0244 X + 100, \quad (11)$$

$$Y = f_0 \sin^2(\pi X / L), \quad (12)$$

где Y – высотная отметка трубопровода в точке контроля с линейной координатой X , м; f_0 – максимальная стрела изгиба участка трубопровода, м, принятая в рассмотренном примере равной $f_0 = 5.0$ м; L – протяженность всплывшего участка, м, принятая в рассмотренном примере равной $L = 200$ м.

Зависимость (11) (рис. 2а) была получена при аппроксимации вертикального профиля одного из участков реального магистрального газопровода с использованием метода наименьших квадратов. Для описания экспериментальных данных использовали полиномальные зависимости со степенью более двух. Степень полинома была принята на основании анализа значения коэффициента достоверности аппроксимации R^2 :

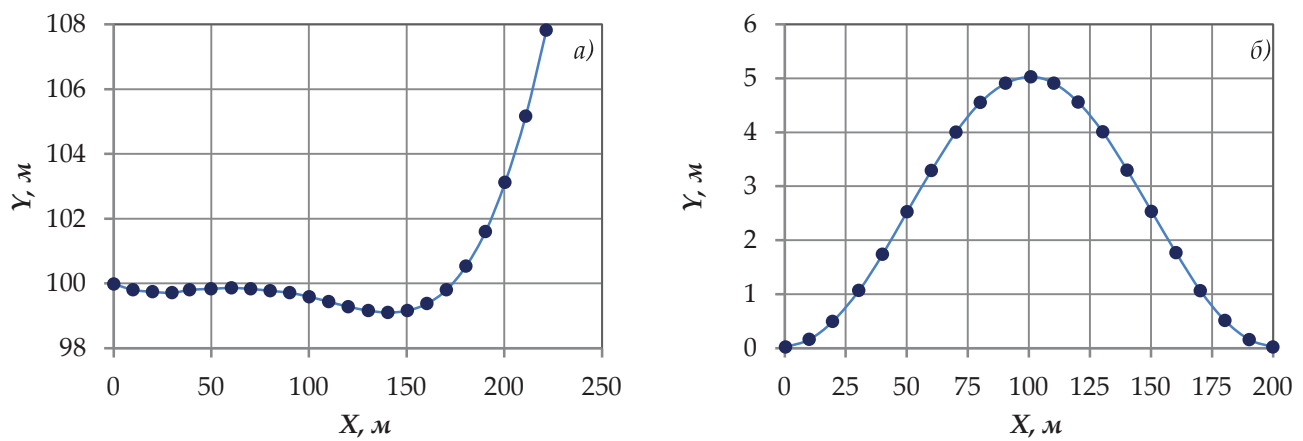


Рис.2. Конфигурации оси газопровода, использованные в проведенных исследованиях
 а) $Y = 3 \cdot 10^{-8} X^4 - 9 \cdot 10^{-6} X^3 + 0.0008 X^2 - 0.0244 X + 100$; б) $Y = 5.0 \sin^2(\pi X / 200)$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 / n}, \quad (13)$$

где Y_i , \hat{Y}_i – фактические и расчетные значения высотных отметок газопровода, м.

При повышении степени полинома с двух до четырех коэффициент достоверности аппроксимации увеличился с 0.75 до 0.9996. Повышение степени полинома до пяти практически не повлияло на значение коэффициента R^2 , поэтому для аппроксимации экспериментальных данных был принят полином четвертого порядка.

Следует отметить, что зависимость (12) (рис. 2б) используется для описания конфигурации всплывших участков, а характерной особенностью зависимости (12) является ее симметричность относительно вертикальной линии, проходящей через точку с координатой $X = 0.5L$.

При вычислении радиуса изгиба использовали координаты точек контроля, располагавшихся как с равномерным, так и неравномерным шагом.

Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2. В таблице 1 представлены результаты расчета радиуса изгиба оси трубопровода, описываемой зависимостью (11), а в таблице 2 – аналогичные результаты для оси трубопровода, описываемой зависимостью (12) при $f_0 = 5.0$ м и $L = 200$ м.

Полученные результаты показали следующее.

1. Увеличение шага между точками контроля, используемыми для расчета радиуса изгиба оси трубопровода, повышает погрешность определения фактического радиуса изгиба.

2. Наиболее значительная погрешность определения радиуса изгиба оси трубопровода наблюдается на участках малой кривизны и в точках, примыкающих к таким участкам.

3. При определении радиуса изгиба оси трубопровода, имеющую несимметричную конфигурацию, приемлемая для инженерных расчетов погрешность (до 10 %) наблюдается при расположении точек контроля с равномерным шагом

не более 20 м. При радиусе изгиба оси не более 1000 м необходимая точность определения радиуса изгиба достигается при увеличении шага между точками контроля до 40 м.

4. При симметричной конфигурации изогнутой оси трубопровода погрешность определения радиуса изгиба криволинейных участков по точкам контроля, расположенным с равномерным шагом, остается постоянной. При этом изменение кривизны кривой при сохранении ее общего характера не влияет на погрешность определения радиусов изгиба в локальных точках. Например, для функций $Y = \sin^2(\pi X / 200)$ и $y = 5.0 \sin^2(\pi X / 200)$ погрешность определения радиуса изгиба при расположении точек контроля с шагом 20 м равна 3.4 %. При этом минимальный радиус изгиба при $X = 100$ м в первом случае равен 2026 м, а во втором – 405 м.

5. Неравномерность шага между точками контроля повышает погрешность определения радиуса изгиба оси трубопровода. При этом с увеличением неравномерности шага погрешность возрастает. Например, для симметричной конфигурации оси трубопровода при равномерном шаге, равном 20 м, погрешность определения радиуса изгиба во всех точках контроля, расположенных на криволинейных участках, составила 3.4 %. Влияние неравномерного шага между точками контроля на погрешность определения радиуса изгиба рассмотрим на примере точки с линейной координатой $X = 30$ м. Фактический радиус изгиба в этой точке равен 690 м. При расстоянии между крайними точками, равным 40 м, что соответствует расстоянию между крайними точками при равномерном шаге, погрешность составила 49.3 % если $h_1 = 10$ м, а $h_2 = 30$ м и 17.9 % если $h_1 = 30$ м, а $h_2 = 10$ м. При другом расстоянии между крайними точками погрешность составила 19.8 % если $h_1 = 10$ м, а $h_2 = 20$ м, 10.4 % если $h_1 = 20$ м, а $h_2 = 10$ м, 7.3 % если $h_1 = 30$ м, а $h_2 = 20$ м. Таким образом, неравномерность шага между точками контроля повысила погрешность определения радиуса изгиба в 2.1...14.5 раз.

Таблица 1
 Результаты расчета радиуса изгиба оси трубопровода при расположении точек контроля с равномерным и неравномерным шагом (для выражения 11)

X, м	Y, м	Фактический радиус изгиба оси, м	Расчетный радиус изгиба оси (м) при расположении точек контроля с шагом h				Расчетный радиус изгиба оси (м) при расположении точек контроля с шагом h ₁ и h ₂										
			h = 10 м		h = 20 м		h = 30 м		h = 40 м		h ₁ = 10 м, h ₂ = 20 м		h ₁ = 20 м, h ₂ = 30 м		h ₁ = 30 м, h ₂ = 40 м		
			h = 10 м	h = 20 м	h = 30 м	h = 40 м	h ₁ = 10 м, h ₂ = 20 м	h ₁ = 20 м, h ₂ = 30 м	h ₁ = 30 м, h ₂ = 40 м	h ₁ = 40 м, h ₂ = 50 м	h ₁ = 10 м, h ₂ = 20 м	h ₁ = 20 м, h ₂ = 30 м	h ₁ = 30 м, h ₂ = 40 м	h ₁ = 40 м, h ₂ = 50 м			
0	100.00	625	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	99.83	912	907	-	-	-	-	1044	1211	1416	-	-	-	-	-	-	-
20	99.76	1506	1493	1453	-	-	-	1818	2262	2890	1229	1742	-	-	-	-	-
30	99.77	3289	3226	3049	2793	-	-	4673	7692	17241	2326	4202	-	-	-	-	-
40	99.80	62500	45455	25000	14286	8929	-	-20000	-9091	-6329	8475	-38462	-12500	-	-	-	-
50	99.84	-5000	-5155	-5682	-6849	-9615	-	-4132	-3597	-3311	-8197	-4587	-4032	-	-	-	-
60	99.86	-2907	-2959	-3125	-3448	-4032	-	-2762	-2674	-2674	-3448	-2959	-2907	-	-	-	-
70	99.85	-2404	-2439	-2551	-2762	-3125	-	-2439	-2513	-2674	-2591	-2591	-2717	-	-	-	-
80	99.79	-2404	-2439	-2551	-2762	-3125	-	-2591	-2857	-3311	-2439	-2762	-3125	-	-	-	-
90	99.69	-2907	-2959	-3125	-3448	-4032	-	-3448	-4348	-6329	-2762	-3759	-5000	-	-	-	-
100	99.56	-5000	-5155	-5682	-6849	-9615	-	-8197	-26316	17241	-4132	-10204	-125000	-	-	-	-
110	99.41	62500	45455	25000	14286	8929	-	8475	4425	2890	-20000	7042	3906	-	-	-	-
120	99.26	3289	3226	3049	2793	2500	-	2326	1779	1416	4673	2203	1689	-	-	-	-
130	99.14	1506	1493	1453	1393	1316	-	1229	1031	879	1818	1193	1000	-	-	-	-
140	99.09	912	907	893	870	839	-	787	690	609	1044	773	676	-	-	-	-
150	99.15	625	623	616	605	590	-	556	500	451	695	549	492	-	-	-	-
160	99.37	460	458	455	448	440	-	417	381	349	503	413	377	-	-	-	-
170	99.81	354	353	351	347	342	-	326	301	279	383	323	298	-	-	-	-
180	100.53	282	282	280	278	275	-	262	244	228	302	261	243	-	-	-	-
190	101.61	231	230	229	228	-	-	216	203	-	245	215	-	-	-	-	-
200	103.12	192	192	191	-	-	-	181	-	-	203	-	-	-	-	-	-
210	105.15	163	163	-	-	-	-	-	-	-	172	-	-	-	-	-	-
220	107.80	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2

Результаты расчета радиуса изгиба оси трубопровода при расположении точек контроля с равномерным и неравномерным шагом (для выражения 12 при $f_0 = 5.0$ м и $L = 200$ м)

$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	Фактический радиус изгиба оси, м	Расчетный радиус изгиба оси (м) при расположении точек контроля с шагом h				Расчетный радиус изгиба оси (м) при расположении точек контроля с шагом h_1 и h_2									
			Расположения точек контроля с шагом h				$h_1 = 10 \text{ м}$		$h_1 = 10 \text{ м}$		$h_1 = 20 \text{ м}$		$h_1 = 20 \text{ м}$		$h_1 = 20 \text{ м}$	
			$h = 10 \text{ м}$	$h = 20 \text{ м}$	$h = 30 \text{ м}$	$h = 40 \text{ м}$	$h_1 = 10 \text{ м}$	$h_2 = 30 \text{ м}$	$h_1 = 10 \text{ м}$	$h_2 = 40 \text{ м}$	$h_1 = 20 \text{ м}$	$h_2 = 10 \text{ м}$	$h_1 = 20 \text{ м}$	$h_2 = 30 \text{ м}$	$h_1 = 20 \text{ м}$	$h_2 = 40 \text{ м}$
0	0.00	405	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	0.12	426	430	-	-	-	-	452	530	485	530	530	-	-	-	
20	0.48	501	505	518	-	-	-	556	627	627	727	727	477	574	652	
30	1.03	690	695	713	743	743	-	826	1030	1030	1376	1376	618	853	1069	
40	1.73	1312	1322	1356	1413	1413	1499	1984	3967	3967	135036	135036	1017	2044	4067	
50	2.50	$2.3 \cdot 10^{11}$	$3.1 \cdot 10^8$	$3.2 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^8$	$3.5 \cdot 10^8$	-3967	-2033	-2033	-1403	-1403	3967	-4129	-2138	
60	3.27	-1312	-1322	-1356	-1413	-1413	-1499	-1017	-842	-842	-734	-734	-1984	-1053	-881	
70	3.97	-690	-695	-713	-743	-743	-788	-618	-566	-566	-532	-532	-826	-639	-591	
80	4.52	-501	-505	-518	-540	-540	-572	-477	-460	-460	-452	-452	-556	-493	-480	
90	4.88	-426	-430	-440	-459	-459	-487	-422	-422	-422	-429	-429	-452	-437	-440	
100	5.00	-405	-409	-419	-437	-437	-463	-415	-429	-429	-451	-451	-415	-429	-447	
110	4.88	-426	-430	-440	-459	-459	-487	-452	-485	-485	-530	-530	-422	-467	-505	
120	4.52	-501	-505	-518	-540	-540	-572	-556	-627	-627	-727	-727	-477	-574	-652	
130	3.97	-690	-695	-713	-743	-743	-788	-826	-1030	-1030	-1376	-1376	-618	-853	-1069	
140	3.27	-1312	-1322	-1356	-1413	-1413	-1499	-1984	-3967	-3967	-134923	-134923	-1017	-2044	-4066	
150	2.50	$-2.3 \cdot 10^{11}$	$3.1 \cdot 10^8$	$3.2 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^8$	$3.5 \cdot 10^8$	3967	2033	2033	1403	1403	-3967	4129	2138	
160	1.73	1312	1322	1356	1413	1413	1499	1017	842	842	734	734	1984	1053	881	
170	1.03	690	695	713	743	743	-	618	566	566	-	-	826	639	-	
180	0.48	501	505	518	-	-	-	477	-	-	-	-	556	-	-	
190	0.12	426	430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	452	-	-	
200	0.00	405	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

На следующем этапе исследований для описания положения точек контроля, намеченных с шагом 10 м на участке трубопровода протяженностью 200 м, и имеющих высотные отметки, вычисленные по формуле $Y = 5.0 \sin^2(\pi X/200)$, был использован метод наименьших квадратов, позволивший найти полиномальную зависимость четвертой степени вида $Y = a_1 X^4 + a_2 X^3 + a_3 X^2 + a_4 X + a_5$, описывающую положение точек контроля с достоверностью $R^2 = 0.9991$. Путем дифференцирования полученной зависимости, в точках контроля были рассчитаны радиусы изгиба и определена погрешность полученных значений по сравнению с фактическими данными. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Полученные данные показали, что после аппроксимации точек контроля полиномом четвертой степени достаточно высокая погрешность (более 20 %) при определении радиусов изгиба наблюдается не только на участках

малой кривизны и в точках, примыкающих к таким участкам, но и на концевых участках протяженностью 30 м. При этом даже на участках трубопровода значительной кривизны ($\rho \approx 00$ м) погрешность определения радиусов изгиба оси в контрольных сечениях составила 10.6...12.4 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при определении радиуса изгиба по координатам трех соседних точек возможно обеспечение точности расчетных значений, приемлемой для инженерных расчетов. Для этого шаг между точками контроля следует принимать равным 10...20 м, а неравномерность шага между соседними точками контроля должна быть минимальная. Аппроксимация экспериментальных точек полиномом четвертой степени обеспечивает сглаживание ошибок измерения, но вместе с этим вызывает достаточно высокую погрешность получаемых результатов, особенно, на концевых участках протяженностью порядка 30 м.

Таблица 3

Результаты расчета радиуса изгиба оси трубопровода и определения погрешности расчетных значений при аппроксимации точек контроля полиномом четвертой степени

X, м	Высотная отметка точки контроля Y, м		Радиус изгиба ρ , м		Погрешность определения радиуса изгиба, %
	фактическая	рассчитанная по полиномальной зависимости	фактический	рассчитанный по полиномальной зависимости	
0	0.00	0.07	405	194	52.2
10	0.12	0.05	426	266	37.7
20	0.48	0.41	501	398	20.5
30	1.03	1.02	690	710	3.0
40	1.73	1.77	1312	2216	69.0
50	2.50	2.57	$2.3 \cdot 10^{11}$	-2792	100.0
60	3.27	3.33	-1312	-980	25.3
70	3.97	3.99	-690	-651	5.5
80	4.52	4.51	-501	-526	4.9
90	4.88	4.83	-426	-471	10.6
100	5.00	4.94	-405	-456	12.4
110	4.88	4.83	-426	-472	10.7
120	4.52	4.51	-501	-527	5.2
130	3.97	4.01	-690	-654	5.1
140	3.27	3.35	-1312	-988	24.7
150	2.50	2.59	$-2.3 \cdot 10^{11}$	-2874	100.0
160	1.73	1.80	1312	2157	64.5
170	1.03	1.05	690	703	2.0
180	0.48	0.45	501	395	21.1
190	0.12	0.10	426	264	38.0
200	0.00	0.14	405	193	52.4

Литература

1. П.П.Бородавкин, А.М.Синюков. Прочность магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1984.
2. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы (актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*). М.: Госстрой, ФАУ ФЦС, 2012.
3. Г.Корн, Т.Корн. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974.

References

1. P.P.Borodavkin, A.M. Sinyukov. Strength of the main pipelines. M.: Nedra, 1984.
2. SP 36.13330.2012. Main pipelines (updated edition of SNiP 2.05.06-85*). M.: Gosstroy, FAU FTsS, 2012.
3. G.A.Korn, T.M.Korn. Mathematical handbook for scientists and engineers. M.: Science, 1974.

Исследование влияния шага измерений профиля газопровода на точность расчета радиусов изгиба его оси

А.С.Кузьбожев¹, И.Н.Бирилло¹, М.М.Бердник²

¹Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Ухта, Россия;

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия

Реферат

В процессе эксплуатации магистральных трубопроводов возможно изменение начального положения трубы и возникновение напряжений изгиба, которые могут вносить значительный вклад в напряженно-деформированное состояние эксплуатирующегося трубопровода. Достоверность определения изгибных напряжений, а значит и достоверность заключения о работоспособности участка трубопровода, обеспечивается достоверностью вычисления радиусов изгиба его оси.

Результаты проведенных исследований показали, что увеличение шага между точками контроля, используемыми для расчета радиуса изгиба оси трубопровода, повышает погрешность определения фактического радиуса изгиба. Наиболее значительная погрешность определения радиуса изгиба оси трубопровода наблюдается на участках малой кривизны и в точках, примыкающих к таким участкам.

При определении радиуса изгиба по координатам трех соседних точек возможно обеспечение точности расчетных значений, приемлемой для инженерных расчетов. Для этого шаг между точками контроля следует принимать равным 10...20 м, а неравномерность шага между соседними точками контроля должна быть минимальная.

Ключевые слова: трубопровод, конфигурация оси, точки контроля, шаг, радиус изгиба, изгибные напряжения, точность значений.

Qaz kəməri profilinin addım ölçülərinin kəmər oxunun əyrilik radiuslarının hesablamasının dəqiqliyinə təsiri

A.S.Kuzbojev¹, İ.N.Birillo¹, M.M.Berdnik²

¹«Qazprom VNIIGAZ» MMC-nin filialı, Uxta, Rusiya;

²Uxta Dövlət Texniki Universiteti, Uxta, Rusiya

Xülasə

Magistral boru kəmərlərinin istismarı prosesində borunun ilkin vəziyyətinin dəyişikliyi və əyilmə gərginliklərinin yaranması mümkündür ki, bunlar istismar edilən boru kəmərinin gərginlik-deformasiya vəziyyətinə əhəmiyyətli təsir edə bilər. Əyilmə gərginliklərinin düzgün təyin edilməsi, bununla da boru kəmərinin hər hansı sahəsinin iş qabiliyyəti haqqında düzgün nəticənin çıxarılması boru kəməri oxunun əyriliyinin radiuslarının düzgün hesablanması ilə təmin olunur. Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərmişdir ki, boru kəməri oxunun əyrilik radiusunun hesablanması üçün istifadə olunan kontrol nöqtələri arasında addımın artırılması faktiki əyrilik radiusunun təyini xətasını artırır. Boru kəməri oxunun əyrilik radiusunun təyində nisbətən daha böyük xəta kiçik əyrilik olan sahələrdə və belə sahələrə yaxın nöqtələrdə müşahidə olunur. Əyrilik radiusunun üç yanaşı nöqtənin koordinatlarına görə təyini zamanı hesablama qiymətlərinin mühəndis hesablamaları üçün qəbul olunan dəqiqliyinin təmin edilməsi mümkündür. Bunun üçün kontrol nöqtələri arasında addımı bərabər 10...20 m qəbul etmək lazımdır, yanaşı kontrol nöqtələri arasında addımın qeyri-bərabərliyi isə minimal olmalıdır.

Açar sözlər: boru kəməri, oxun konfigurasiyası, kontrol nöqtələri, addım, əyrilik radiusu, əyilmə gərginliyi, qiymətlərin dəqiqliyi.