

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВНИИСПТнефть

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИКА
ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ
РЕШЕНИЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ
С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕПАДА .
РД 39 - 30 - 613 - 81

1982

Министерство нефтяной промышленности

**Всесоюзный научно-исследовательский институт по сбору,
подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов**

ВНИИСПнефть

УТВЕРЖДЕНА

первым заместителем министра

В.И.Кремневым

5 ноября 1981 г.

М Е Т О Д И К А

**ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРОКЛАДКИ
ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕПАДА**

РД 39-30-613 - 81

Методика разработана лабораторией надежности нефтепроводных труб отдела надежности магистральных нефтепроводов и сектором технологии АБР лаборатории техники и технологии АБР института ВНИИСПТнефть.

В настоящей редакции Методики учтены замечания и предложения институтов ВНИИСТ, Гипротрубопровод, Джигиронефтепровод, Гипротюменнефтегаз и других отраслевых институтов, а также ведущих предприятий Главтранснефти Миннефтепрома.

Методика является руководящим документом для организаций, осуществляющих проектирование и эксплуатацию линейной части магистральных трубопроводов.

Методика разработана кандидатами технических наук А.Г.Гумеровым, Н.Ш.Тимербаевым, Х.А.Азметовым, инженером Р.А.Фаткуллиной при участии конструктора Г.И.Лошадкиной и инженера Г.М.Мазина.

Замечания и предложения просим направлять по адресу: 450055, г.Уфа-55, проспект Октября, 144/3, ВНИИСПТнефть.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методика выбора рациональных конструктивных решений
прокладки трубопроводов с учетом температурного перепада

РД-39-30-613-81

(вводится впервые)

Приказом Министерства нефтяной промышленности от 13 ноября
1981 года № 613

Срок введения установлен с 01.01.82.

Срок действия до 01.01.87.

Настоящий руководящий документ распространяется на подземные трубопроводы для транспортирования нефти, нефтепродуктов и газов и устанавливает порядок расчета на прочность, устойчивость стенки трубы и общую устойчивость в продольном направлении криволинейных участков трубопроводов конструктивно выполненных коленом и пригруженных одиночными, сплошными пригрузами, а также на однопролетные переходы, где поворот выполнен коленом, упругим изгибом.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Методика распространяется на линейную часть подземных магистральных трубопроводов.

1.2. Методика разработана в развитие главы СНиП П-45-75 "Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования".

1.3. Методика позволяет выполнить расчет на прочность, устойчивость стенки трубы и общую устойчивость трубопроводов в продольном направлении на поворотах в вертикальной плоскости на "выпуклом" рельефе местности, а также открытых однопролетных переходов.

1.4. Методика составлена для подземных трубопроводов, проложенных в глинистых, песчаных и т.п. грунтах и не распространяется на трубопроводы, прокладываемые на болотах, в торфяных и вечномерзлых грунтах.

1.5. Повороты подземных трубопроводов, конструктивно выполненные коленом и упругим изгибом, имеют радиус кривизны колен
5 Дн.

1.6. Для снижения перемещений трубопровода применяется пригрузка.

1.7. Пригрузка осуществляется как одиночными, так и сплошными грузами.

1.8. Для трубопроводов, свободных от продольных перемещений, допускается закрепление анкерными устройствами, аналогичными применяемым для закрепления труб против всплытия, в табл. I даны размеры утяжеляющих грузов, гзятые по работе [2].

Таблица I

Наружный диаметр трубопровода, м	Внутренний радиус груза, м	Объем груза, м ³
1	2	3
Чугунные кольцевые		
0,325	0,207	0,036
0,530	0,305	0,107
0,720	0,400	0,214
0,820	0,450	0,214
1,020	0,550	0,286
1,220	0,650	0,428
Железобетонные кольцевые		
0,325	0,205	0,178
0,530	0,305	0,536
0,720	0,400	1,070
Армобетонные серповидные		
0,325	0,220	0,14
0,530	0,330	0,69
0,720	0,480	1,37
0,820	0,480	1,37
1,020	0,590	1,37
1,220	0,680	1,82
1,420	0,780	2,30

1.9. Расчет трубопроводов на углах поворота на "выпуклом" рельефе местности выполняется по деформациям.

2. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБопРОВОДОВ

2.1. Основными нагрузками и воздействиями для линейной части действующих магистральных трубопроводов являются: внутреннее давление, давление грунта, собственный вес трубы и продукта, изменение температуры стенки трубы, упругий изгиб трубы, просадки и пучения грунта, давление оползающих грунтов.

2.2. Определение нагрузок и воздействий производится в соответствии со СНиП П-45-75 "Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования" и СНиП П-6-74 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования".

2.3. В стенке трубы от внутреннего давления возникает растягивающие кольцевые напряжения

$$\sigma_{лч} = \frac{P D_{вн}}{2\delta}, \quad (1)$$

где P - рабочее (нормативное) давление в трубопроводе, МПа;

$D_{вн}$ - внутренний диаметр трубы, м;

δ - толщина стенки трубы, м.

2.4. Внутреннее давление в трубопроводе на прямолинейных участках трассы, не имеющих линейной арматуры, вызывает в стенке трубы в продольном направлении растягивающие напряжения, равные

$$\sigma_{пр} = 0,15 \frac{P D_{вн}}{\delta} \quad (2)$$

При наличии заглушек, задвижек и поворотов продольные растягивающие напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{пр} = 0,25 \frac{P D_{вн}}{\delta} \quad (3)$$

2.5. При изгибе трубопровода внутреннее давление вызывает появление поперечного распределенного усилия, следствием которого является осевое сжимающее усилие, равное

$$N_{ор} = (1 - 2\mu) P F_{сб}, \quad (4)$$

где μ - коэффициент Пуассона материала труб (для стали $\mu = 0,3$);

$F_{сб}$ - площадь сечения трубы в свету, м², определяемая по формуле

$$F_{сб} = \frac{\pi D_{вн}^2}{4} \quad (5)$$

2.6. Изменение температуры стенки трубы при отсутствии перемещений трубопровода вызывает появление продольного усилия, равного

$$N_{от} = \alpha E F \Delta t, \quad (6)$$

где α - коэффициент линейного расширения материала труб (для стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$);

E - модуль упругости материала труб (для стали $E = 0,21 \cdot 10^6$ МПа);

F - площадь стенки поперечного сечения трубы, м²;

Δt - расчетный температурный перепад, т.е. разность между температурой металла труб при укладке и в процессе эксплуатации, °К.

2.7. Изгиб действующего подземного трубопровода производится фиктивным усилием

$$N_0 = \alpha E F \Delta t + (1 - 2\mu) \rho F \epsilon \beta \quad (7)$$

2.8. При упругом (свободном) изгибе трубопровода в процессе укладки его в проектное положение возникают продольные напряжения, определяемые по формуле

$$\sigma_{пр}^N = \pm \frac{E D_N}{2 \rho} \quad (8)$$

где ρ - минимальный радиус упругого изгиба оси трубопровода, м;

D_N - наружный диаметр трубопровода, м.

2.9. Вес транспортируемой нефти или нефтепродукта в 1 м трубопровода q прод./м следует определять по формуле

$$q_{прод} = \gamma_N \frac{\pi D_N^2 \delta_N}{4} \quad (9)$$

где γ_N - объемный вес транспортируемой нефти или нефтепродукта, $\frac{н}{м^3}$.

2.10. При поперечных перемещениях подземный трубопровод оказывает силовое воздействие на грунт и испытывает с его стороны реактивное сопротивление.

Сопротивление поперечным вертикальным перемещениям трубопровода определяется по работе [3]

$$q = q_{гр} + q_{гп} = q_{гр} + 0,8 [\gamma_{гр} D_N (h + 0,11 D_N) + \gamma_{гп} (h + 0,5 D_N)^2 \operatorname{tg} (0,7 \varphi_{гп}) + \frac{C_{гп} (h + 0,5 D_N)}{\cos (0,7 \varphi_{гп})}] \quad (10)$$

где $q_{гр}$ - предельная несущая способность грунтовой засыпки, н/м;

$q_{гп}$ - вес 1 м трубопровода с продуктом, н/м;

$\gamma_{гп}$ - расчетный объемный вес грунта засыпки над трубопроводом, н/м³;

$\varphi_{гп}$ - расчетный угол внутреннего трения, рад.;

$C_{гп}$ - расчетное сцепление грунта, МПа;

h - глубина заложения трубопровода до верха трубы, м;

2.11. Сопротивление продольным перемещениям трубопровода определяется по формуле [3]

$$\rho = 2\beta [q_{гр} \operatorname{tg} \varphi_{гп} + 2 \gamma_{гп} C_N \pi D_N^2 \operatorname{tg} \varphi_{гп} + 0,6 \gamma_N C_{гп}] \quad (11)$$

где C_n - коэффициент, учитывающий образование свода естественного равновесия, определяемый в зависимости от относительной глубины заложения трубопровода по графику на рис.6.

В таблице 2 даны характеристики грунтов по [4]

Таблица 2

Виды грунтов	$\gamma_{гр}$ н/м ³	$\varphi_{гр}$ рад.	$C_{гр}$ н/м ²
Песчаные	$1,2 \cdot 10^4 + 1,9 \cdot 10^4$	$0,349 + 0,663I$	$0 + 14 \cdot 10^3$
Глинистые	$1,2 \cdot 10^4 + 1,9 \cdot 10^4$	$0,262 + 0,3839$	$2,0 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^4$

3. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ, ДЕФОРМАЦИЙ, УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНКИ ТРУБЫ И ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОПРОВОДА В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

3.1. В качестве предельного состояния подземного трубопровода на углах поворота принимается условие

$$\sigma_{пр}^H < \psi_3 \frac{C}{K_H} \cdot R_2^H, \quad (12)$$

где $\sigma_{пр}^H$ - максимальные суммарные продольные напряжения, определяемые в соответствии с п.4.6 и п.7.2.8.

ψ_3 - коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, при растягивающих продольных напряжениях ($\sigma_{пр}^H > 0$), принимаемый равным единице, при сжимающих ($\sigma_{пр}^H < 0$), определяемый по формуле:

$$\psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{\sigma_{пр}^H}{\frac{C}{K_H} \cdot R_2^H} \right)^2} - 0,5 \frac{\sigma_{пр}^H}{\frac{C}{K_H} \cdot R_2^H} \quad (13)$$

где R_2^H - нормативное сопротивление металла труб, МПа, принимаемое равным минимальному значению предела текучести по государственным стандартам и техническим условиям на трубы;

C - коэффициент, принимаемый равным 1 для трубопроводов III и IV категории, 0,85 - для I и II категорий и 0,65 - для категории В.

Категории магистральных трубопроводов принимаются по табл.3

K_H - коэффициент надежности, определяемый по табл. 4.

Таблица 3

Назначение магистрального трубопровода	Категория магистрального трубопровода при подземной прокладке
Для транспортирования природного газа:	
а) диаметром менее 1,2 м	IV
б) диаметром 1,2 м и более	III
Для транспортирования нефти и нефтепродуктов:	
а) диаметром менее 0,7 м	IV
б) диаметром 0,7 м и более	III

Таблица 4

Условный диаметр трубопровода, м	Значение коэффициента надежности, Кн			Для нефти и нефтепродуктов
	Для газопроводов в зависимости от внутреннего давления Р, МПа			
	$P \leq 5,5$	$5,5 < P \leq 7,5$	$7,5 < P < 10,0$	
0,5 и менее	1,0	1,0	1,0	1,0
0,6 + 1,0	1,05	1,05	1,05	1,0
1,2	1,05	1,05	1,1	1,05
1,4	1,05	1,1	1,15	1,1

3.2. Практика эксплуатации магистральных трубопроводов показывает, что на углах поворота тонкостенные трубы теряют устойчивость при изгибе из-за вмятин в сжатой зоне. Снижает устойчивость стенки трубы отсутствие внутреннего давления при остановке перекачки. Поэтому в зоне, где $\sigma_{пр} < 0$, особенно при отсутствии внутреннего давления, следует производить проверку устойчивости стенки трубы.

3.3. Проверка устойчивости стенки трубы производится из условия:

$$\sigma_{пр}^H \leq m \cdot \sigma_{кр}, \quad (14)$$

где $\sigma_{пр}$ - критическое напряжение, н/м², при котором происходит выпучивание стенки трубы, определяемое по формуле:

$$\sigma_{кр} = \left(\frac{9,26\delta}{D_н - \delta} + 0,85 \right) R_2^H, \quad (15)$$

где m - коэффициент условия работы трубопровода, принимаемый равным 0,9 для трубопроводов III и IV категорий, 0,75 - для I и II категорий и 0,6 - для категорий V.

3.4. Проверка общей устойчивости трубопровода в продольном направлении производится из условия

$$N \leq m N_{\text{окр}}, \quad (16)$$

где N - действующее продольное усилие, N

$N_{\text{окр}}$ - продольное критическое усилие, N , при котором наступает потеря продольной устойчивости трубопровода, определяемое для углов поворота согласно п.п.4.16, 7.2.12.

3.5. На криволинейных участках трубопроводов, при значении продольного сжимающего усилия меньше критического происходят продольные и поперечные перемещения трубопровода. Толщина слоя грунта над трубопроводом после перемещений должна быть не менее предусмотренной СНиП П-45-75. Исходя из этого, при указанных условиях глубина заложения трубопровода до верха трубы на изогнутом участке определяется по формуле 3

$$h = h'' + V, \quad (17)$$

где V - наибольшие вертикальные перемещения трубопровода, м, определяемые в соответствии с п.4.9 и п.п.7.1.8 ; 7.2.9;

h'' - глубина заложения трубопровода по СНиП П-45-75, принимаемая не менее:

при диаметре менее 1 м - 0,8 м;

при диаметре 1 м и более - 1 м;

в песчаных барханах, считая от нижних отметок межбарханных оснований - 1 м;

в скальных грунтах при отсутствии проезда автотранспорта и сельскохозяйственных машин - 0,6 м.

Изогнутый участок трубопровода - участок, где происходят поперечные перемещения трубопровода под действием продольных сжимающих усилий. Длина изогнутого участка трубопровода определяется в соответствии с п.4.10 и п.п.7.19; 7.2.10.

3.6. Проверка поперечного перемещения трубопровода в вертикальной плоскости производится из условия

$$V \leq [V] \quad (18)$$

где $[V]$ - предельно-допустимое, по эксплуатационным и технологическим условиям, поперечное перемещение трубопровода, м.

Величина $[V]$ при заданном значении h определяется по формуле

$$[V] = m (h - h''). \quad (19)$$

4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ГРУЗОВ И АНКЕРОВ НА КРИВОЛИ- НЕЙНОМ УЧАСТКЕ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА, ВЫПОЛНЕННОМ КОЛЕНОМ

4.1. На "выпуклом" рельефе местности под действием продольных сжимающих усилий происходят вертикальные поперечные и продольные перемещения трубопровода в сторону угла поворота.

4.2. Максимальные поперечные перемещения и продольные напряжения возникают в середине изогнутого участка, в сечении 00 (см.рис.1).

4.3. С целью уменьшения поперечных перемещений и продольных напряжений применяется пригрузка сплошными и одиночными грузами и закрепление трубопровода анкерами. Методикой подразумеваются общепринятые решения железобетонных и чугунных пригрузов. Для трубопроводов, свободных от продольных перемещений, допускается закрепление анкерными устройствами, аналогичными применяемым для закрепления труб против всплывания (см.рис.5).

4.4. От схемы размещения грузов и анкеров зависят значения продольных напряжений и перемещений трубопровода. Наиболее целесообразно грузы и анкера размещать непосредственно на вершине угла поворота. Имеется предельное расстояние размещения одиночного груза или анкера от поворота. Размещение груза и анкера на расстоянии, превышающее предельное, не приводит к снижению перемещений и напряжений.

4.5. Предельное расстояние размещения одиночного груза от поворота определяется по формуле

$$L_{прод} = 0,4L \quad (20)$$

4.6. Максимальные предельные напряжения в трубопроводе определяются по формуле

$$\sigma_{пр}^n = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}, \quad (21)$$

где N - продольное усилие, действующее на изогнутом участке трубопровода и определяемое в соответствии с п.4.8. Н;

M - изгибающий момент в середине изогнутого участка, н.м., определяемый в соответствии с п.4.7.;

W - момент сопротивления поперечного сечения трубопровода, м³;

4.7. Наибольший изгибающий момент определяется по формуле

$$M = \omega \sqrt[3]{9(EJtg\varphi)^2} \quad (22)$$

где Q – сопротивление поперечным перемещениям трубопровода по п.2.10;

J – момент инерции сечения трубопровода, m^4 ;

φ – половина угла поворота трубопровода, рад., принимаемого по проекту ($0 < 2\varphi < 1,5707$ рад.),

ω – безразмерный параметр изгибающего момента, определяемый в соответствии с п.4.12.

4.8. Продольное усилие, действующее на изогнутом участке трубопровода, определяется по формуле

$$N = \frac{P \pi D_{вн}^2}{4} \sqrt[3]{EJ \left(\frac{\pi q}{tg \varphi} \right)^2}, \quad (23)$$

где K – безразмерный параметр сжимающего усилия, определяемый в соответствии с п.4.13.

4.9. Максимальные поперечные перемещения (прогиб) трубопровода определяются по формуле

$$V = \tilde{V} \sqrt[3]{\frac{EJ}{q} tg^4 \varphi} \quad (24)$$

где \tilde{V} – безразмерный параметр прогиба, определяемый в соответствии с п.4.14.

4.10. Длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота, определяется по формуле

$$L = \alpha \sqrt[3]{\frac{EJ}{Kq} \cdot tg^3 \varphi}, \quad (25)$$

где α – безразмерный параметр изгиба, определяемый в соответствии с п.4.11.

Параметр α может иметь значения в интервале $0 < \alpha < 4,49$.

4.11. Безразмерный параметр изгиба α определяется решением уравнения

$$\beta = \sqrt[3]{K^2 + Z} \sqrt[3]{\tilde{V} \left[1 + \frac{x^2}{16\alpha} \tilde{V} \sqrt[3]{K} \right]}, \quad (26)$$

где β – безразмерный параметр начального сжимающего усилия, определяемый по формуле

$$\beta = N_0 \sqrt[3]{\frac{1}{EJ} \left(\frac{tg \varphi}{q} \right)^2}, \quad (27)$$

где N_0 – начальное сжимающее усилие, определяемое по п.2.7

Безразмерный параметр Z определяется по формуле

$$Z = \sqrt{\frac{2P}{q}} \frac{F}{J} \cdot tg^3 \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{EJ}{q} tg \varphi}, \quad (28)$$

где ρ - сопротивление продольным перемещениям трубопровода по п.2.II.

4.12. Безразмерный параметр изгибающего момента определяется по формуле

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\kappa^3}} \left\{ \frac{1}{\cos \alpha} - 1 - \frac{\kappa}{\alpha_0} \left[\frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{\cos \alpha} - 1 \right] + \frac{1}{\cos \alpha} \left[\nu_0 \sin \alpha + \nu_1 \sin(\alpha - \alpha_1) + \dots + \nu_i \sin(\alpha - \alpha_i) + \dots + \nu_n \sin(\alpha - \alpha_n) \right] \right\} \quad (29)$$

где α_n - безразмерный параметр длины определяется по формуле

$$\alpha_n = \kappa L_n \quad (30)$$

L_n - расстояние от поворота до местонахождения n -го груза;

α_0 - безразмерный параметр кривой вставки определяется по формуле

$$\alpha_0 = R \sqrt[3]{\kappa \frac{q}{EJ} \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}. \quad (31)$$

Здесь R - радиус кривизны колена, м

ν_n - безразмерный параметр одиночного груза определяется согласно формуле

$$\nu_n = \frac{\rho_n}{q} \sqrt{\frac{N^*}{EJ}}, \quad N^* = \sqrt[3]{EJ \left(\frac{\kappa q}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^2}, \quad (32)$$

где ρ_n - вес n -го одиночного груза;

ν_0 - безразмерный параметр одиночного груза, установленного на повороте.

4.13. Безразмерный параметр сжимающего усилия K определяется по формуле

$$\kappa = \frac{\alpha \left[\alpha \operatorname{tg} \alpha - \nu_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) - \nu_1 \left(\frac{\cos \alpha - 1}{\cos \alpha} \right) - \dots - \nu_i \left(\frac{\cos \alpha - 1}{\cos \alpha} \right) - \dots - \nu_n \left(\frac{\cos \alpha - 1}{\cos \alpha} \right) \right]}{\alpha_0 + \sin(\alpha - \alpha_0) - \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha - \alpha_0)} \quad (33)$$

4.14. Безразмерный параметр прогиба \tilde{V} определяется по формуле

$$\tilde{V} = \frac{1}{\sqrt{\kappa}} \left\{ \frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{\alpha_0 \cos \alpha} - \frac{1}{\alpha_0} - \alpha + \frac{\alpha_0}{2} + \frac{1}{\kappa} \left(1 + \frac{\alpha^2}{2} - \frac{1}{\cos \alpha} \right) - \frac{\nu_0}{\kappa} \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \alpha \right) + \frac{1}{\kappa} \left[\nu_1 (\alpha - \alpha_1) + \nu_2 (\alpha - \alpha_2) + \dots + \nu_i (\alpha - \alpha_i) + \dots + \nu_n (\alpha - \alpha_n) \right] - \frac{1}{\kappa \cos \alpha} \left[\nu_1 \sin(\alpha - \alpha_1) + \nu_2 \sin(\alpha - \alpha_2) + \dots + \nu_i \sin(\alpha - \alpha_i) + \dots + \nu_n \sin(\alpha - \alpha_n) \right] \right\} \quad (34)$$

4.15. Характер перемещений подземного трубопровода на углах поворота под действием продольных сжимающих усилий зависит от конструкции угла поворота, геометрических характеристик трубы и характеристик грунта.

4.16. Начальное сжимающее усилие, приводящее к потере общей устойчивости трубопровода в продольном направлении, определяется по формуле

$$N_{кр} = \beta_{кр} \sqrt[3]{EJ \left(\frac{q}{Tg\varphi} \right)^2}, \quad (35)$$

где $\beta_{кр}$ - безразмерный параметр, равный максимуму кривых зависимости параметра изгиба φ от параметра начального сжимающего усилия β .

Влияние одиночных грузов на напряженно-деформированное состояние трубопроводов можно проследить на конкретном примере. (Приложение 3).

5. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПОВОРОТАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ КОЛЕНАМИ И ПРИГРУЖЕННЫХ СПЛОШНЫМИ ГРУЗАМИ

5.1. Эффективность использования грузов, для снижения перемещений и напряжений, зависит от длины пригруженного участка и интенсивности пригрузки. Более эффективно увеличение интенсивности сплошной пригрузки в области угла поворота трубопровода. Увеличение только длины пригруженного участка, при постоянной интенсивности пригрузки, мало эффективно. Имеется предельная длина пригруженного участка трубопровода, больше которой практически уменьшение перемещений и напряжений не происходит.

5.2. Предельная длина пригруженного участка трубопровода определяется по формуле

$$L_{пр.ог} = 0,75 L, \quad (36)$$

где L - длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота, м, определяемая по п. 5.7.

5.3. Максимальные продольные напряжения в трубопроводе определяются в соответствии с п. 4.6.

5.4. Наибольшие изгибающие моменты определяются по формуле (22), где ω определяется в соответствии с п. 5.9.

5.5. Продольное усилие, действующее на изогнутом участке трубопровода, определяется по формуле (23), где K определяется в соответствии с п.5.10.

5.6. Максимальные поперечные перемещения трубопровода определяются по формуле (24), где \sqrt{V} определяется в соответствии с п. 5.11.

5.7. Длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота определяется по формуле (25), где d определяется в соответствии с п. 5.8.

5.8. Безразмерный параметр изгиба d определяется по формулам (26), (27), (28).

5.9. Безразмерный параметр изгибающего момента ω определяется по формуле

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{K}} \left\{ \frac{1}{\cos a} - 1 - \frac{n}{a_0} \left[\frac{\cos(a-a_0)}{\cos a} - 1 \right] + \frac{\delta_1}{\cos a} [\cos(a-a_1) - \cos a] + \dots + \frac{\delta_i}{\cos a} [\cos(a-a_i) - \cos a] + \dots + \frac{\delta_n}{\cos a} [\cos(a-a_n) - \cos a] \right\},$$

где δ_n - безразмерный параметр, равный $\delta_n = \frac{q_n}{q}$;

q_n - интенсивность сплошной нагрузки.

5.10. Безразмерный параметр сжимающего усилия K определяется по формуле

$$K = \frac{a \cdot \operatorname{tg} a + \delta_1 \left(a_1 \frac{\sin a_1}{\cos a} \right) + \dots + \delta_i \left(a_i \frac{\sin a_i}{\cos a} \right) + \dots + \delta_n \left(a_n \frac{\sin a_n}{\cos a} \right)}{1 + \frac{\sin(a_1 - a_0)}{a_0} - \operatorname{tg} a \frac{\cos(a - a_0)}{a_0}} \quad (38)$$

5.11. Безразмерный параметр прогиба определяется по формуле

$$\sqrt{V} = \frac{1}{\sqrt{K}} \left\{ \frac{\cos(a-a_0)}{a_0 \cos a} - \frac{1}{a_0} - a + \frac{a_0}{2} + \frac{1}{K} \left(1 + \frac{a^2}{2} \frac{1}{\cos a} \right) - \frac{\delta_1}{K} \left[\frac{a_1^2}{2} - a a_1 - 1 + \frac{\cos(a-a_1)}{\cos a} \right] - \dots - \frac{\delta_i}{K} \left[\frac{a_i^2}{2} - a a_i - 1 + \frac{\cos(a-a_i)}{\cos a} \right] - \dots - \frac{\delta_n}{K} \left[\frac{a_n^2}{2} - a a_n - 1 + \frac{\cos(a-a_n)}{\cos a} \right] \right\} \quad (39)$$

5.12. Характер перемещений подземного трубопровода на углах поворота под действием продольных сжимающих усилий зависит от конструкции угла поворота, геометрических характеристик трубы, длины пригруженного участка и интенсивности пригрузки.

5.13. Начальное критическое сжимающее усилие, при котором происходит потеря общей устойчивости трубопровода в продольном направлении, определяется по формуле (35).

Влияние сплошной нагрузки на напряжения и перемещения трубопровода показано на примере (приложение 3).

6. ВЫБОР СХЕМЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА ОТ ПРОДОЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

6.1. С целью увеличения сопротивления продольным перемещениям трубопровода применяется пригрузка утяжеляющими грузами или анкерами (рис. 4.5).

6.2. В зависимости от несущей способности пригрузов определяется необходимое их количество. При установлении нескольких пригрузов, для их равномерного нагружения, трубопровод в местах установки пригрузов должен иметь возможность некоторого продольного перемещения. В местах установки пригрузов, расположенных к повороту, трубопровод должен иметь возможность максимального перемещения. Эти пригрузки должны быть размещены на неизогнутых участках, которые получают продольные смещения.

6.3. Места размещения пригрузов определяют из условия

$$l \leq l_i \leq l + L \quad (40)$$

где l_i - расстояние от вершины угла поворота до места размещения i го анкера;

l - длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от поворота;

L - длина неизогнутого участка, вдоль которого происходят продольные смещения трубопровода

$$L = \frac{N_0 - T - N^*}{P}, \quad (41)$$

N_0 - определяется по (7);

N^* - продольное усилие на изогнутом участке трубопровода определяется по формуле (32);

$T = T_1 + T_2 + T_i + T_n$ - суммарная удерживающая способность анкеров, установленных с одной стороны от поворота;

P - сопротивление продольным перемещениям трубопровода по формуле (II).

6.4. Максимальные продольные напряжения в трубопроводе при закреплении его пригрузами от продольных перемещений определяются в соответствии с формулой (21).

6.5. Наибольшие изгибающие моменты определяются по формуле (22), где ω определяется в соответствии с формулой (48).

6.6. Продольное усилие, действующее на изогнутом участке, определяется по формуле (23), где N определяется в соответствии с формулой (49).

6.7. Длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота определяется по формуле (25).

6.8. Безразмерный параметр α определяется по формулам (42), (27) и (28).

6.9. Безразмерный параметр начального сжимающего усилия определяется по формуле

$$\beta = \alpha + \sqrt{\alpha^2 + Z} \sqrt{\sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{16\alpha}} \sqrt[3]{K}} \quad (42)$$

где

$$\alpha = \tau \sqrt{\frac{1}{EJ} \left(\frac{tg \varphi}{q} \right)^2} \quad (43)$$

K - определяется в соответствии с формулой (49);

Z - определяется в соответствии с формулой (28);

$\sqrt[3]{\cdot}$ - определяется в соответствии с формулой (60).

6.10. Продольные перемещения трубопровода в месте размещения анкера определяются по формуле

$$U_i = \frac{qJ}{2\rho F} \sqrt{\frac{q}{EJ}} \frac{1}{tg \varphi} \left[\xi_i (\beta - \sqrt{\alpha^2 + Z}) \right]^2 \quad (44)$$

где

$$\xi_i = 1 - \frac{l_i - l}{L} \quad (45)$$

6.11. Рассматривается схема закрепления трубопровода от продольных перемещений с равномерным нагружением анкеров, что позволяет осуществлять выбор одинаковых анкеров.

6.12. Поскольку удерживающая способность l -го анкера определяется формулой

$$T_i = K\alpha_i \varphi_i \cdot U_i \quad (46)$$

то равномерное нагружение анкеров, т.е. $T_1 = T_2 = \dots = T_i = T_n$ будет обеспечено, если выполнится условие

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 = \dots = C_i U_i = C_n U_n \quad (47)$$

где $C_i = K\alpha_i \varphi_i$ - отпорность грунта;

$K\alpha_i$ - коэффициент отпорности грунта;

φ_i - эффективная ширина подошвы анкера.

Если, например, анкер выполнен в виде кругового кольца вокруг подземной трубы, то φ_i равен площади этого кольца.

При равенстве коэффициентов отпорности грунта в местах размещения анкеров имеем

$$\varphi_1 U_1 = \varphi_2 U_2 = \dots = \varphi_i U_i = \dots = \varphi_n U_n$$

т.е. анкеры, расположенные ближе к повороту, должны иметь меньшую φ_i , чем остальные.

При равенстве $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = \dots = \Phi_n$ грунт, в месте расположения ближайшего к повороту анкера, должен иметь меньший K_{0i} , чем у других анкеров.

Из условий (46) и (47) также имеем, что с целью получения большего эффекта (L_c - большего) от анкера, его следует расположить ближе к повороту с соблюдением условия (40).

6.13. Безразмерный параметр изгибающего момента определяется по формуле

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{H^2}} \left\{ \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) - \frac{H}{a_0} \left[\frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{\cos \alpha} - 1 \right] \right\}, \quad (48)$$

где a_0 - определяется по формуле (31),

α - определяется по п.6.9.

6.14. Безразмерный параметр сжимающего усилия определяется по формуле

$$H = \frac{\alpha - \operatorname{tg} \alpha}{1 - \frac{\sin(\alpha - \alpha_0)}{a_0} - \operatorname{tg} \alpha \frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{a_0}} \quad (49)$$

6.15. Безразмерный параметр прогиба определяется по формуле

$$\sqrt{v} = \frac{1}{\sqrt{H}} \left[\frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{a_0 \cos \alpha} - \frac{1}{a_0} - \alpha + \frac{\alpha_0}{2} + \frac{1}{H} \left(1 + \frac{\alpha^2}{2} - \frac{1}{\cos \alpha} \right) \right] \quad (50)$$

6.16. Максимальное поперечное перемещение трубопровода определяется по формуле (24).

6.17. Начальное критическое сжимающее усилие определяется по формуле (35), где безразмерный параметр $\beta_{кр}$ равен максимуму кривых зависимостей параметра изгиба α от параметра начального сжимающего усилия β .

7. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ

7.1. Однопролетный переход на выпуклом рельефе местности выполнен коленом.

7.1.1. Напряжения и перемещения трубопровода на однопролетных переходах зависят от длины перехода. Имеется критическая длина перехода, при которой напряжения в трубе максимальны для данных условий строительства и эксплуатации.

7.1.2. Формула для определения параметра критической длины перехода при выполнении поворота коленом имеет вид

$$\beta_{кр} = 0,00171 + 0,3024\alpha + 0,0236\alpha^2 - 0,023\beta - 0,09612\alpha^3 + 0,0047\beta^2, \quad (51)$$

$$+ 0,32906\alpha\alpha_0 + 0,04758\alpha_0\beta - 0,11532\alpha_0^2 - 0,03511\alpha_0\beta + 0,0047\beta^2,$$

где ξ - безразмерный параметр, определяемый по формуле $\xi = \frac{q_{гр}}{q_{гр}}$,
 $q_{гр}$ - предельная несущая способность грунтовой засыпки по п.2.10,

$q_{гр}$ - вес единицы длины трубопровода с продуктом.

7.1.3. При назначении длины перехода следует учесть выражение (51). Длина перехода при выполнении поворота коленом должна удовлетворять условию $b < b_{нр}$ или $b > b_{нр}$, где

$$b_{нр} = 2b_{онр} \sqrt[3]{\frac{EJ}{q_{гр}} \cdot \frac{1}{K} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (52)$$

7.1.4. Для обеспечения возникновения наименьших напряжений, длину перехода следует принимать из условий

$$b \leq 0,4L, \quad b \geq 0,9L,$$

где L - длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота, определяемая по п.7.1.9.

7.1.5. Максимальные продольные напряжения трубопровода определяются в соответствии с п.4.6.

7.1.6. Продольное усилие, действующее на изогнутом участке трубопровода, определяется по формуле

$$N = \frac{\rho x D \omega^2}{4} \sqrt[3]{\frac{EJ}{q_{гр}} \left(\frac{K q_{гр}}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^2} \quad (53)$$

7.1.7. Наибольшие изгибающие моменты определяются по формуле

$$M = \omega \sqrt[3]{q_{гр} (EJ \operatorname{tg} \varphi)^2} \quad (54)$$

где ω - определяется в соответствии с п.7.1.11.

7.1.8. Максимальные поперечные перемещения трубопровода определяются по формуле

$$V = \sqrt[3]{\frac{EJ}{q_{гр}} \cdot \operatorname{tg}^4 \varphi}, \quad (55)$$

где $\sqrt[3]{}$ - определяется в соответствии с п.7.1.13.

7.1.9. Длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота определяется по формуле

$$L = \alpha \sqrt[3]{\frac{1}{K} \frac{EJ}{q_{гр}} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (56)$$

7.1.10. Безразмерный параметр α определяется по формулам (26), (27) и (28).

7.1.11. Безразмерный параметр изгибающего момента определяется по формуле

$$\omega = \sqrt[3]{\frac{1}{K^2}} \left\{ \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) \frac{K}{\alpha_0} \left[\frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{\cos \alpha} - 1 \right] + \frac{\xi}{\cos \alpha} \left[1 + \cos(\alpha - \beta) \right] \right\}^{57} \quad (57)$$

где α_0 - определяется по формуле (31);

$$b_0 = \begin{cases} \frac{Hb}{2}, & \text{при } b < L, \\ \frac{L}{a}, & \text{при } b > L, \end{cases} \quad (58)$$

где b - длина перехода, м;

b_0 - безразмерный параметр длины перехода.

7.1.12. Безразмерный параметр сжимающего усилия K определяется по формуле

$$K = \frac{a - \operatorname{tg} \alpha + \xi \left(a - \operatorname{tg} \alpha - b_0 + \frac{\sin b_0}{\cos \alpha_0} \right)}{1 + \frac{\sin(\alpha - \alpha_0)}{a_0} - \operatorname{tg} \alpha \frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{a_0}} \quad (59)$$

7.1.13. Безразмерный параметр прогиба определяется по формуле

$$\sqrt{\frac{1}{K} \left[\frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{a_0 \cos \alpha} + \frac{a_0}{2} - \frac{1}{a} + \frac{1}{K} \left(1 + \frac{a^2}{2} \frac{1}{\cos \alpha} \right) + \frac{\xi}{K} \left[\frac{\cos(\alpha - b_0)}{\cos \alpha} + \frac{1}{\cos \alpha} \frac{(a - b_0)^2}{2} \right] \right]} \quad (60)$$

7.1.14. Начальное критическое сжимающее усилие, приводящее к потере общей устойчивости трубопровода, определяется по п.4.16.

7.2. Однопролетный переход на "выпуклом" рельефе местности выполнен упругим изгибом.

7.2.1. Рассмотрим однопролетный переход трубопровода, если поворот выполнен упругим изгибом. Критическая длина перехода определяется из выражения

$$b_{\text{кр}} = 0,25a \quad (61)$$

$$b_{\text{кр}} = 2b_{\text{кр}} \sqrt[4]{A_0 \frac{EJ}{H} \frac{1}{K}} \quad (62)$$

7.2.2. Для обеспечения возникновения наименьших напряжений длину перехода следует принимать из условия

$$b \leq 0,5L, \quad b \geq 0,9L,$$

где L - длина изогнутого участка трубопровода, определяемая по пункту 7.2.10.

7.2.3. Максимальный изгибающий момент определяется по формуле

$$M = \omega \sqrt{A_0 EJ q_{\text{пр}}}, \quad (63)$$

где ω - безразмерный параметр изгибающего момента, определяемый в соответствии с п. 7.2.4.

A_0 - амплитуда начального прогиба, определяемая в соответствии с п. 7.2.7.

7.2.4. Безразмерный параметр изгибающего момента для упруго-искривленных однопролетных переходов определяется по формуле

$$\omega = \frac{1}{\sqrt[3]{K^2}} \left\{ \frac{1}{\cos \alpha} - 1 + \frac{\pi^2 K^2}{2(\pi^2 - \alpha_0^2)} \left[\frac{\cos(\pi \frac{\alpha}{\alpha_0}) - 1}{\cos \alpha} \right] + \frac{\xi}{\cos \alpha} [1 - \cos(\alpha - \beta_0)] \right\} \quad (64)$$

$\text{при } l \leq L_0$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt[3]{K^2}} \left\{ \frac{1}{\cos \alpha} - 1 - \frac{\pi^2 K^2}{2(\pi^2 - \alpha_0^2)} \left[\frac{\cos(\alpha - \alpha_0) + 1}{\cos \alpha} \right] + \frac{\xi}{\cos \alpha} [1 - \cos(\alpha - \beta_0)] \right\} \quad (65)$$

$\text{при } l > L_0$

где l - длина изогнутого участка трубопровода;

L_0 - длина волны начального прогиба;

α_0 - безразмерный параметр длины волны, определяемый в соответствии с п.7.2.5;

ξ - параметр, определяемый по п. 7.1.2;

β_0 - безразмерный параметр определяется по формуле (58).

7.2.5. Безразмерный параметр длины волны начального упругого прогиба определяется по формуле

$$\alpha_0 = \frac{L_0}{2} \sqrt[4]{K \cdot \frac{\sigma}{EJ} \frac{1}{A_0}} \quad (66)$$

где L_0 - длина волны начального прогиба, м.

Параметр α_0 может иметь значения в интервале $0 < \alpha_0 < 3,14$

7.2.6. Безразмерный параметр сжимающего усилия K определяется по формуле

$$K = \frac{\alpha - \text{tg} \alpha + \xi \{ \alpha - \beta_0 - \sin(\alpha - \beta_0) - \text{tg} \alpha [1 - \cos(\alpha - \beta_0)] \}}{\frac{\pi^2 \cos(\pi \frac{\alpha}{\alpha_0})}{2(\pi^2 - \alpha_0^2)} [\pi \text{tg} \alpha - \alpha_0 \text{tg}(\pi \frac{\alpha}{\alpha_0})]} \quad (67)$$

$\text{при } l \leq L_0$

$$K = \frac{\alpha - \text{tg} \alpha - \xi \{ \alpha - \beta_0 - \sin(\alpha - \beta_0) - \text{tg} \alpha [1 - \cos(\alpha - \beta_0)] \}}{\frac{\pi^2 \cos(\alpha - \alpha_0)}{2(\pi^2 - \alpha_0^2)} [\text{tg}(\alpha - \alpha_0) - \text{tg} \alpha]} \quad \text{при } l > L_0$$

7.2.7. Зависимость между амплитудой, длиной волны и радиусом кривизны начального упругого прогиба трубопровода определяется по формуле

$$A_0 = \frac{L_0^2}{2\pi^2 \rho} \quad (68)$$

где ρ - радиус кривизны упруго-искривленного участка, м.

7.2.8. Максимальные продольные напряжения в трубопроводе определяются по формуле

$$\sigma_{np}^n = \frac{N}{F} \pm \left(\frac{M}{W} + \frac{E D_n}{2\rho} \right) \quad (70)$$

где N - продольное усилие, действующее на изогнутом участке трубопровода, определяется согласно формуле

$$N = \frac{\rho \pi D_n^3}{4} - \sqrt{K \frac{EJ \rho}{A_0}} \quad (71)$$

7.2.9. Максимальные поперечные перемещения определяются по формуле

$$V_{max} = A_0 \cdot \tilde{V} \quad (72)$$

где \tilde{V} - безразмерный параметр прогиба, определяемый по формуле

$$\tilde{V} = \frac{1}{K} \left(1 + \frac{a^2}{2} - \cos a \right) + \frac{1}{2} \cos \left(x \frac{a}{a_0} \right) + \frac{a_0^2}{2(x^2 - a_0^2)} \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right] \times \quad (73)$$

$$\times \frac{\cos \left(x \frac{a}{a_0} \right)}{\cos a} + \frac{\xi}{K} \left[\frac{\cos(a - b_0)}{\cos a} - \frac{1}{\cos a} + \frac{(a - b_0)^2}{2} \right], \text{ при } l \leq l_0$$

$$\tilde{V} = \frac{1}{K} \left(1 + \frac{a^2}{2} - \frac{1}{\cos a} \right) - \frac{1}{2} + \frac{a_0^2}{2(x^2 - a_0^2)} \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2 \frac{\cos(a - a_0)}{\cos a} \right] + \quad (74)$$

$$+ \frac{\xi}{2} \left[\frac{\cos(a - b_0)}{\cos a} - \frac{1}{\cos a} + \frac{(a - b_0)^2}{2} \right], \text{ при } l > l_0$$

7.2.10. Длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота, определяется по формуле

$$L = 2a \sqrt{\frac{1}{K} \frac{EJ}{q_p} A_0}, \quad (75)$$

7.2.11. Зависимость между параметрами β и a определяется по формуле

$$\beta = \sqrt{K+Z} \sqrt{\frac{\sqrt{K}}{a} \left[\tilde{V}^2 + 2\tilde{V} \sin^2 \left(\frac{2a_0}{2a_0} \right) \right]}, \text{ при } l \leq l_0 \text{ и} \quad (76)$$

$$\beta = \sqrt{K+Z} \sqrt{\frac{\sqrt{K}}{a} \left[(1 + \tilde{V} - \tilde{V} l_0)^2 + (1 + \tilde{V})^2 \frac{a_0}{a} \left(1 - \frac{a_0}{a} + \frac{1}{2\xi} \sin \frac{2a_0}{a} \right) \right]} \quad (77)$$

при $l > l_0$.

$$\text{где } \tilde{V}_0 = \frac{1}{K} \left(1 + \frac{a^2}{2} - \frac{a_0^2}{2} - \frac{\cos a_0}{\cos a} \right) + \frac{\xi^2}{2(x^2 - a_0^2)} \left[\frac{\cos a_0}{\cos a} - \right.$$

$$\left. - \cos(a - a_0) - 1 \right] + \frac{\xi}{K} \left[\frac{\cos a_0 \cos(a - b_0)}{\cos a} - \frac{\cos a_0}{\cos a} - \frac{(a - b_0)^2}{2} \right] +$$

$$+ \frac{\xi}{K} \left[1 - \frac{(a - b_0)^2}{2} - \cos(a - b_0) \right], \quad (78)$$

$$z = \frac{\xi A_0}{4} \sqrt{\frac{2 \rho F}{J} \sqrt{\left(\frac{A_0}{Q_{TP}}\right)^3 \frac{1}{EJ}}} \quad (79)$$

$$\xi = \xi^* = \frac{q_{TP}}{q_{TP}} \quad , \quad (80)$$

$$\beta = N_0 \sqrt{\frac{A_0}{EJq_{TP}}} \quad , \quad (81)$$

$$N_{опр} = \beta_{опр} \sqrt{\frac{EJq_{TP}}{A_0}} \quad (82)$$

В формуле (78) при $\beta > \beta_0$ принимается $\xi^* = 0$, а при $\beta < \beta_0$, $\xi^* = 0$

7.2.12. Начальное критическое сжимающее усилие, при котором происходит потеря общей устойчивости трубопровода в продольном направлении, определяется по формуле (82). Безразмерный параметр $\beta_{опр}$ равен максимуму кривых зависимостей параметра изгиба σ от параметра начального сжимающего усилия β .

Влияние длины однопролетного перехода на напряженно-деформированное состояние трубопровода можно проследить на примере (Приложение 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП П-45-75. Нормы проектирования. Магистральные трубопроводы. М., Стройиздат, 1975.
2. Громов А.В., Калинин А.Н., Строительство магистральных трубопроводов.- Киев, 1975.
3. Указания по проектированию и методике расчета магистральных газопроводов из труб \varnothing 1420мм.- М. ЦНТИ ВНИИСТА, 1974.
4. Бородавкин П.П., Механика грунтов в трубопроводном строительстве.- М: Недра, 1976.

Порядок расчета трубопровода

П.И.И. Порядок расчета трубопровода, пригруженного одиночными грузами, на "выпуклых" участках при выполнении поворота кольным

1). Устанавливаются значения исходных величин

$$D_n, \delta, J, F, W, R_2^H, K_n, C, m, h^H, h, \rho, \Delta t, \varphi, R, Q_{np}, \dot{\varphi}_{np}, \varphi_{np}, C_p, E, \alpha, \mu, \rho_0, \rho_1, \rho_2 \dots \rho_i \dots \rho_n ;$$

2). Вычисляется начальное усилие N_0 по формуле (7).

3). Вычисляется сопротивление поперечным Q и продольным P перемещениям трубопровода по формулам (10), (11).

4). Вычисляется несущая способность трубопровода по формуле (12).

5). Вычисляется критическое напряжения при потере устойчивости стенки трубы $\sigma_{кр}$ по формуле (15).

6). Вычисляется параметр β по формуле (27).

7). Вычисляется параметр Z по формуле (28).

8). Задаем начальным значением параметра $Q = 0,1$.

9) Вычисляется параметр $K = \frac{\sin Q - Q \cdot \cos Q}{1 - \cos Q}$

10). Вычисляется параметр Q_0 по формуле (31).

11). Вычисляются параметры $\nu_0, \nu_1 \dots \nu_2 \dots \nu_i \dots \nu_n$ по формуле (32).

12). Задаем параметрами $Q_1, Q_2 \dots Q_i \dots Q_n$ из условия (20) так, что при расстановке по одну сторону от угла поворота π грузов $Q_i = i \frac{Q_1 L}{n}$, где i - порядковый номер груза, начиная от угла поворота $i = 1, 2, 3 \dots$;

13). Вычисляется параметр K по формуле (33).

14). Вычисляется параметр $\hat{\nu}$ по формуле (34).

15). Вычисляется параметр β по формуле (26).

16). Производится проверка по β

Если $\beta < \beta_{const}$ то начальное значение параметра Q нужно увеличить на шаг ΔQ , т.е. $Q = Q + \Delta Q$

Если $\beta > \beta_{const}$ то начальное значение безразмерного параметра Q нужно уменьшить на шаг $\frac{\Delta Q}{2}$, т.е. $Q = Q - \frac{\Delta Q}{2}$

Расчет по пунктам 8+16 алгоритма делается до тех пор, пока

$\beta < \beta_{const}$ не совпадут (погрешность 0,01). Для дальнейших вычислений принимаем значения параметров $Q, Q_i, Q_0, K, \hat{\nu}, \nu_i$, соответствующие моменту совпадения $\beta < \beta_{const}$

17). Вычисляется начальное критическое сжимающее усилие $N_{кр}$ при потере общей устойчивости трубопровода в продольном направлении по формуле (35).

18). Вычисляется длина изогнутого участка трубопровода l в одну сторону от угла поворота по формуле (25).

19). Вычисляется расстояние l_1 от угла поворота до места размещения l -го груза по формуле (30).

20). Вычисляется параметр ω по формуле (29).

21). Вычисляется максимальное поперечное перемещение трубопровода γ по формуле (24).

22). Вычисляется максимальный изгибающий момент M по формуле (22).

23). Вычисляется продольное усилие N по формуле (23).

24). Вычисляются продольные напряжения $\sigma_{пр}^n$ по формуле (21).

25). Производится проверка прочности трубопровода из условия (12).

26). Производится проверка устойчивости стенки трубы из условия (14).

27). Производится проверка поперечного перемещения трубопровода из условия (18).

28). Производится проверка общей устойчивости трубопровода в предельном направлении из условия (16).

29). По результатам проверок делается заключение о прочности, устойчивости стенки трубы, общей устойчивости трубопровода в продольном направлении.

П.1.2. Порядок расчета трубопровода, пригруженного сплошной нагрузкой, на выпуклых участках при выполнении поворота коленом

1). Устанавливаются значения исходных величин:

$$D_n, \delta, \gamma, F, W, R_2^n, K_n, C, m, h^n, h, \rho, st, \varphi, R, q_{пр}, \delta_{пр}, \varphi_{пр}, C_{пр}, E, \alpha, \mu, q_1, q_2, \dots, q_i \dots q_n$$

2). Вычисляется начальное усилие N_0 по формуле (7).

3). Вычисляются сопротивления поперечным q и продольным p перемещениям трубопровода по формулам (10), (11).

4). Вычисляется несущая способность трубопровода по формуле (12)

5). Вычисляется критическое напряжение при потере устойчивости стенки трубы $\sigma_{кр}$ по формуле (15).

6). Вычисляется параметр β по формуле (27).

Эта величина постоянная, равна β_{const}

7). Вычисляется параметр Z по формуле (28).

8). Задаем начальным значением параметра $a = 0,1$.

9). Вычисляется параметр $M = \frac{\sin a - a \cos a}{1 - \cos a}$

- 10). Вычисляется параметр Q_0 по формуле (31).
 11). Вычисляются параметры $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i, \dots, \delta_n$ по пункту 5.9.
 12). Задаются параметрами $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n$ из условия (36) так, что при расположении на изогнутом участке n сплошных грузов, начиная от угла поворота, $Q_i = i \frac{Q_{15} Q}{n}$, где i - порядковый номер сплошного груза, начиная от угла поворота.
 13). Вычисляется параметр M по формуле (38).
 14). Вычисляется параметр V^n по формуле (39).
 15). Вычисляется параметр β по формуле (26).
 16). Производится проверка по β .

Если $\beta - \beta_{const} < 0$, то начальное значение параметра Q нужно увеличить на шаг ΔQ , т.е. $Q = Q + \Delta Q$

Если $\beta - \beta_{const} > 0$, то начальное значение безразмерного параметра Q нужно уменьшить на шаг $\frac{\Delta Q}{2}$, т.е. $Q = Q - \frac{\Delta Q}{2}$

Расчет по пунктам 8+16 алгоритма делается до тех пор, пока β и β_{const} не совпадут (погрешность 0,01). Для дальнейших вычислений принимаем значения параметров Q, Q_i, Q_0, M, V^n, V^k соответствующие моменту совпадения β и β_{const}

17). Вычисляется начальное критическое сжимающее усилие $N_{нач}$ при потере общей устойчивости трубопровода в продольном направлении по формуле (35).

18). Вычисляется длина изогнутого участка трубопровода L в одну сторону от угла поворота по формуле (25).

19). Вычисляется длина l_i сплошной нагрузки q_i от угла поворота по формуле (30).

20). Вычисляется параметр ω по формуле (37).

21). Вычисляется максимальное поперечное перемещение трубопровода V по формуле (24).

22). Вычисляется максимальный изгибающий момент M по формуле (22).

23). Вычисляется продольное усилие N по формуле (23).

24). Вычисляются продольные напряжения $\sigma_{пр}$ по формуле (21).

25). Производится проверка прочности трубопровода из условия (12).

26). Производится проверка устойчивости стенки трубы из условия (14).

27). Производится проверка поперечного перемещения трубопровода из условия (18).

28). Производится проверка общей устойчивости трубопровода в продольном направлении из условия (16).

29). По результатам проверок делается заключение о прочности, устойчивости стенки трубы, общей устойчивости трубопровода в продольном направлении.

П.І.3.Порядок расчета трубопровода, закрепленного от продольных перемещений, на "выпуклых" участках при выполнении поворота коленом

1). Устанавливаются значения исходных величин:

$$D_n, \delta, J, I, V, R_2'', H_n, C, m, h, h, p, \delta t, \varphi, R, Q_{pp}, \delta_{pp},$$

$$\varphi_{pp}, C_{pp}, E, \alpha, U, K_{01}, K_{02} \dots K_{0n}, \Phi_1, \Phi_2 \dots \Phi_n, T_1, T_2 \dots T_n$$

2). Вычисляется начальное усилие N_0 по формуле (7).

3). Вычисляется сопротивление поперечным q и продольным p перемещениям трубопровода по формулам (10), (11).

4). Вычисляется несущая способность трубопровода по формуле (12)

5). Вычисляется критическое напряжение

$$\sigma_{кр} \text{ по формуле (15).}$$

6). Вычисление параметра B по формуле (27).

Эта величина постоянная, равна B_{const}

7). Вычисляется параметр Z по формуле (28).

8). Вычисляется суммарная удерживающая способность анкеров по пункту 6.6.

9). Вычисляется продольное усилие N^* по п.4.12.

10). Вычисляется длина неизогнутого перемещающегося участка L по формуле (41).

11). Вычисляется величина C по формуле (43).

12). Задаем начальным значением параметра $Q = 0, 1$.

$$13). \text{ Вычисляется параметр } K = \frac{\sin Q - Q \cos Q}{1 - \cos Q}$$

14). Вычисляется параметр Q_0 по формуле (31).

15). Вычисляется параметр N по формуле (49).

16). Вычисляется параметр \sqrt{r} по формуле (50).

17). Вычисляется параметр β по формуле (42).

18). Производится проверка по β

Если $\beta - B_{const} < 0$, то начальное значение параметра Q нужно увеличить на шаг ΔQ , т.е. $Q = Q + \Delta Q$

Если $\beta - B_{const} > 0$, то начальное значение безразмерного параметра Q нужно уменьшить на шаг $\frac{\Delta Q}{2}$, т.е. $Q = Q - \frac{\Delta Q}{2}$

Расчет по пунктам 10+17 алгоритма делается до тех пор, пока β и B_{const} не совпадут (погрешность 0,01).

Для дальнейших вычислений принимаем значения параметров β, Q, \sqrt{r} соответствующие моменту совпадения β и B_{const}

- 19) Вычисляется начальное критическое сжимающее усилие $N_{кр}$ при потере общей устойчивости трубопровода в продольном направлении по формуле (35).
- 20) Вычисляется длина изогнутого участка трубопровода l в одну сторону от угла поворота по формуле (25).
- 21) Вычисляется продольное перемещение трубопровода U в месте расположения i -го анкера по формуле (44).
- 22) Вычисляется параметр ξ по формуле (45).
- 23) Вычисляется $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n$ по формуле (45) с учетом условия (40).
- 24) Вычисляется параметр ω по формуле (48).
- 25) Вычисляется максимальное поперечное перемещение V по формуле (24).
- 26) Вычисляется максимальный изгибающий момент M по формуле (22).
- 27) Вычисляется продольное усилие N по формуле (23).
- 28) Вычисляются продольные напряжения $\sigma_{пр}^n$ по формуле (21).
- 29) Производится проверка прочности трубопровода из условия (12)
- 30) Производится проверка устойчивости стенки трубы из условия (14).
- 31) Производится проверка поперечного перемещения трубопровода из условия (18).
- 32) Производится проверка общей устойчивости трубопровода в продольном направлении из условия (16).
- 33) По результатам проверок делается заключение о прочности, устойчивости стенки трубы, общей устойчивости трубопровода в продольном направлении.

П. I. 4. Порядок расчета однопролетных переходов трубопровода на "выпуклых" участках, где поворот выполнен в виде колена

- 1) Устанавливаются значения исходных величин :

$$D_n, \delta, J, F, W, R_e^*, K_n, C, m, h, h^*, h, D, \Delta t, \varphi, R, \rho_{пр}, \gamma_{пр}, \rho, C_{пр}, E, \alpha, \mu, \nu$$

- 2) Вычисляется начальное усилие N_0 по формуле (7)
- 3) Вычисляется сопротивление поперечным q и продольным p перемещениям трубопровода по формулам (10), (11).
- 4) Вычисляется несущая способность трубопровода по формуле (12).
- 5) Вычисляется критическое напряжение при потере устойчивости стенки трубы $\sigma_{кр}$ по формуле (15).
- 6) Вычисляется параметр β по формуле (27).
Эта величина постоянная, равная β_{const} .

- 7) Вычисляется параметр Z по формуле (28).
- 8) Задаем первоначальным значением параметра $Q = 0,1$.
- 9) Вычисляется параметр $K = \frac{\sin Q - Q \cos Q}{1 - \cos Q}$
- 10) Вычисляется параметр Q_0 по формуле (31).
- 11) Вычисляется длина изогнутого участка трубопровода L в одну сторону от угла поворота по формуле (56).
- 12) Вычисляется параметр θ_0 по формуле (58).
- 13) Вычисляется предельная несущая способность грунта $q_{гр}$ по пункту 2.10.
- 14) Вычисляется параметр ξ по пункту 7.1.2.
- 15) Вычисляется параметр H по формуле (59).
- 16) Вычисляется параметр \sqrt{r} по формуле (60).
- 17) Вычисляется параметр β по формуле (26).
- 18) Производится проверка по β
 Если $\beta - \beta_{const} < 0$, то начальное значение параметра "а" нужно увеличить на шаг ΔQ , т.е. $Q = Q + \Delta Q$
 Если $\beta - \beta_{const} > 0$, то начальное значение безразмерного параметра "а" нужно уменьшить на шаг $\frac{\Delta Q}{2}$, т.е. $Q = Q - \frac{\Delta Q}{2}$
 Расчет по пунктам 8+18 алгоритма делается до тех пор, пока $\beta - \beta_{const}$ не совпадут (погрешность 0,01).
- Для дальнейших вычислений принимаются значения параметров $Q, Q_0, \theta_0, K, \sqrt{r}$, соответствующие моменту совпадения $\beta - \beta_{const}$
- 19) Вычисляется начальное критическое сжимающее усилие $N_{кр}$
 При потере общей устойчивости трубопровода в продольном направлении по пункту 7.1.14.
- 20) Вычисляется окончательная длина изогнутого участка трубопровода L в одну сторону от угла поворота по формуле (56).
- 21) Производится проверка оптимальности длины перехода θ из условия п.7.1.4.
- 22) Вычисляется параметр ω по формуле (57).
- 23) Вычисляется максимальное поперечное перемещение трубопровода V по формуле (55).
- 24) Вычисляется максимальный изгибающий момент M по формуле (54)
- 25) Вычисляется продольное усилие N по формуле (53).
- 26) Вычисляются продольные напряжения σ_{\parallel} по формуле (21).
- 27) Производится проверка прочности трубопровода из условия (12).
- 28) Производится проверка устойчивости стенки трубы из условия (14)
- 29) Производится проверка поперечного перемещения трубопровода из условия (18).

- 30) Производится проверка общей устойчивости трубопровода в продольном направлении из условия (I6).
- 31) По результатам проверок делается заключение о прочности, устойчивости стенки трубы, общей устойчивости трубопровода в продольном направлении.

П. I. 5. Порядок расчета однопролетных переходов трубопровода на "выпуклых" участках, где поворот выполнен упругим изгибом.

- 1) Устанавливаются значения исходных величин:

$$D_k, \delta, J, F, W, A_2'', K'', C, m, h'', h, p, \Delta t, \varphi, \varphi, L_0, q_{fp}, \delta_{fp}, \varphi_{fp}, C_{fp}, E, \alpha, \nu, \beta$$

- 2) Вычисляется начальное значение N_0 по формуле (7).
- 3) Вычисляются сопротивления поперечным q и продольным p перемещениям трубопровода по формулам (10), (11).
- 4) Вычисляется несущая способность трубопровода по формуле (12).
- 5) Вычисляется критическое напряжение при потере устойчивости стенки трубы σ_{kp} по формуле (15).
- 6) Вычисляется амплитуда A_0 начального упругого прогиба трубопровода по формуле (66).
- 7) Вычисляется параметр β по формуле (81).
- 8) Вычисляется параметр Z по формуле (79).
- 9) Задаем начальным значением параметра $\sigma = 0, I$
- 10) Вычисляется параметр $K = \frac{\sin \alpha - \sigma \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$
- 11) Вычисляется параметр q_0 по формуле (66).
- 12) Вычисляется длина изогнутого участка трубопровода в одну сторону от угла поворота по формуле (75).
- 13) Вычисляется параметр θ_0 по формуле (58).
- 14) Вычисляется предельная несущая способность грунта q_{fp} по пункту 2.10.
- 15) Вычисляется параметр ξ по пункту 7.1.2.
- 16) Вычисляется параметр k по пункту 7.2.6.
- 17) Вычисляется параметр ν по пункту 7.2.9.
- 18) Вычисляется параметр β по пункту 7.2.II.
- 19) Производится проверка по β

Если $\beta - \beta_{const} < 0$, то начальное значение безразмерного параметра σ нужно увеличить на шаг $\Delta \sigma$, т.е. $\sigma = \sigma + \Delta \sigma$

Если $\beta - \beta_{const} > 0$, то начальное значение безразмерного параметра σ нужно уменьшить на шаг $\frac{\Delta \sigma}{2}$, т.е. $\sigma = \sigma - \frac{\Delta \sigma}{2}$

Расчет по пунктам 8-19 алгоритма делается до тех пор, пока β *beta const* не совпадут (погрешность 0,01).

Для дальнейших вычислений принимаем значения параметров

a, a_0, b, a_1, V , соответствующие моменту совпадения β и *beta const*

- 20) Вычисляется начальное критическое сжимающее усилие $N_{кр}$ при потере общей устойчивости трубопровода в продольном направлении по формуле (82).
- 21) Вычисляется окончательная длина изогнутого участка трубопровода L по формуле (75).
- 22) Производится проверка оптимальности длины перехода b из условия п.7.2.2.
- 23) Вычисляется параметр ω по пункту 7.2.4.
- 24) Вычисляется максимальное поперечное перемещение трубопровода Y по формуле (72).
- 25) Вычисляется максимальный изгибающий момент M по формуле (63).
- 26) Вычисляется продольное усилие N по формуле (71).
- 27) Вычисляются продольные напряжения $\sigma_{пр}$ по формуле (70).
- 28) Производится проверка прочности трубопровода из условия (12).
- 29) Производится проверка устойчивости стенки трубы из условия (14)
- 30) Производится проверка поперечного перемещения трубопровода из условия (18)
- 31) Производится проверка общей устойчивости трубопровода в продольном направлении из условия (16).
- 32) По результатам проверок делается заключение о прочности, устойчивости стенки трубы, общей устойчивости трубопровода в продольном направлении.

Расчет трубопровода на ЭЦВМ "Наири-2"

П.2.1. Программа решения задачи записывается на алгоритмическом языке и в такой записи вводится в машину

П.2.2. Для обозначения величин на машине имеется специальный алфавит букв. Поэтому условные обозначения, используемые в Методике, заменяются буквами, используемыми на машине:

$D_{вн} - \Phi; \delta - \delta; J - U; W - \omega; F - r; \rho - q; \Delta t - t; R_2^H - M_1; K_H - M_2; C - M_3;$
 $H^H - u_1; h - u_2; q_{rp} - \lambda_1; \varphi - f; A - r; m - m; \delta_{rp} - \lambda_2; \varphi_{rp} - \lambda_3; C_{rp} - C_2; Q - Q;$
 $P_0 - P_0; P_1 - P_1, \dots, P_n - P_n; N_0 - N_0; Q - y; C_H - z; p - p;$
 β (определяемый по формуле (27)) - β_1
 β (определяемый через безразмерные параметры Q_0) - $\beta_2; Z - Z;$
 $H - x; \sqrt{U} - u; \alpha_0 - \alpha; \omega - \omega; \sigma_{rp} - b; V - n; L_{rp. \alpha \alpha} - C_3; L_{rp. \sigma n} - C_3;$
 $\varphi_1 - \varphi_1; \varphi_2 - \varphi_2 \dots \varphi_n - \varphi_n; q_1 - q_1; q_2 - q_2 \dots q_n - q_n$
 $l_1 - l_1; l_2 - l_2 \dots l_n - l_n; N - N; L - L; k_2 - k_2; k_2 - k_2 \dots k_n - k_n; U_1 - U_1;$
 $U_2 - U_2 \dots U_n - U_n; v - v; v_0 - v_0; q_{rp} - y_1; l - l; L_0 - L_0; N - N;$
 $R_0 - N_3; \sqrt{L_0} - C_3; \varphi - r_2; (\psi R_2) H_2; L_{VJ} - H_2; E_{rp}^H - H_1; T - T; \gamma_0 - v_0; U - v;$
 $\gamma - v_1, \gamma_n; b_n; q_1 - q_1, q_2 - q_2 \dots q_n - q_n; \delta_1 - \delta_1; \delta_2 - \delta_2 \dots \delta_n - \delta_n; T_1 m_1; T_2 m_2; \dots T_n m_n; K_0, K_1, K_2 - K_2$
 $M_0 - M_0$

Также при составлении программы для обозначения типа грунта используются буквы ω и δ . При песчаном грунте обозначено $\delta = I$ и $\omega = 0$, а при глинистом $\delta = 0$ и $\omega = I$.

П.2.3. Для составления программы расчета трубопроводов на прочность, устойчивость стенки трубы и общую устойчивость в продольном направлении вводятся следующие, общие для всех вариантов исходные данные:

$\Phi; \delta; U; r; \omega; M_1; M_2; M_3; m; u_1; u_2; q; t; \lambda_1; \lambda_2; \lambda_3;$
 $C_2, f; S; \omega$

Кроме того вводятся:

1) для программы расчета поворота трубопровода, оформленного коленом и пригруженного одиночными грузами

$P_0; P_1; P_2 \dots P_n; r$

2) для программы расчета поворота трубопровода, оформленного коленом и пригруженного сплошными нагрузками

$q_1; q_2; \dots q_n; r$

3) для программы расчета поворота трубопровода, оформленного коленом и закрепленного от продольных перемещений.

$m_1; m_2, \dots m_i \dots m_n; l_1; l_2 \dots l_i \dots l_n; K_1; K_2 \dots K_i \dots K_n; \Phi; \omega; \omega; \omega$

- 4) для программы расчета однопролетного перехода трубопровода, если поворот выполнен коленом

$r_1; \theta$

- 5) для программы расчета однопролетного перехода трубопровода, если поворот выполнен упругим изгибом

$r_2; \theta; L_0$

П.2.4. Аргументы функции вводятся в машину только в радианах. Поэтому аргументы функции, заданные в градусах, переводятся в радианную меру. Исходные данные вводятся в машину в м., н, рад.

П.2.5. На печать выводятся значения суммарных продольных напряжений $\bar{\sigma}_{\text{пр}}$, максимальных поперечных перемещений трубопровода V_{max} и несудей способности трубопровода $\psi_3 A_2$. Также для контроля печатаются значения $N_0; q; \rho$

П.2.6. По полученным результатам $\bar{\sigma}_{\text{пр}} V$ делается заключение о прочности и устойчивости криволинейного участка трубопровода.

П.2.7. Рабочая программа и инструкция для машины типа "ЭВМ ЕС-1022" оформлены отдельно и находятся в ВЦ института ВНИИСПТ-нефть.

Примеры расчета трубопровода на прочность и устойчивость и выбора рациональных конструктивных решений

Пример I.

Нефтепровод диаметром 1,02 м и толщиной стенки 1,1·10⁻² м уложен в песчаном грунте на глубине 1 м от верхней образующей трубы. Трубопровод имеет угол поворота в вертикальной плоскости на выпуклом рельефе местности, равный 0,262 рад. Поворот выполнен коленом с радиусом 40 м. Внутреннее давление в трубопроводе равно 5 Мпа, а температурный перепад составляет 60°К. Момент инерции, момент сопротивления и площадь сечения трубопровода соответственно равны 4439·10⁻⁶ м⁴, 8704·10⁻⁶ м³ и 349·10⁻⁴ м².

Вес трубы с продуктом 10⁴ н/м.

Предел текучести материала трубы - 360 Мпа.

Характеристики грунта: объемный вес $\gamma = 1,2 \cdot 10^4$ н/м³, расчетный угол внутреннего трения $\varphi = 0,4$ рад и расчетное сцепление $c=0$.

Согласно п.3.1 имеем $C=1$, $K_n=1$. Согласно п.3.3 имеем $\eta=0,9$.

Выполнить расчет на прочность и устойчивость и выбор рациональной конструкции размещения одиночного груза.

I. Поворот выполнен коленоугнутым коленом.

По формуле (7) начальное сжимающее усилие

$$N_0 = 664400 \text{ н}; \text{ где } F_{c0} = \frac{\gamma D_0^2}{4} = 0,182 \text{ м}^2;$$

Согласно (10) и (11)

$$q = 27210 \frac{\text{н}}{\text{м}}; \quad p = 16250 \frac{\text{н}}{\text{м}};$$

По графику на рис. 6 для $\frac{h}{D_0} = 0,99$ и для песчаного грунта находим $C_N = 0,420$

По формуле (13)

$$\psi = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{2268}{360,0} \right)^2} = 0,5 \frac{226,8}{360,0} = 0,597; \quad G_{нц} = 2268 \text{ н/м}$$

Несущая способность трубопровода по (12)

$$\psi \frac{C}{K_n} \cdot R_c^n = 215 \text{ н/м}$$

По формуле (15)

$$\sigma_{np} = 538,4 \text{ н/м}$$

По формулам (27) и (23) $\beta = 2,0034$; $Z = 2,3429$

Согласно алгоритма П.И.И. определяем значение безразмерного параметра : Q

$$Q = 1,84$$

Согласно алгоритма П.И.И. определяется параметр

$$K = 1,1702$$

Параметр Q_0 по формуле (31)

$$Q_0 = 0,03351.$$

По формуле (33) при $\nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = \dots \nu_i = \nu_n = 0$

т.е. трубопровод выполнен коленом, но без пригрузки $K = 1,1703$.

Тогда $Q_0 = 0,3360$.

По формулам (29) и (34) находим $\omega = 0,3849$ и $\nu = 0,1379$.

По формулам (22) и (23) находим

$$M = 285839,6 \text{ нм}$$

$$N = -118660 \text{ н}$$

По формуле (21) продольные сжимающие напряжения

$$\sigma_{пр}^s = -331,8 \text{ МПа}$$

Продольные растягивающие напряжения $\sigma_{пр}^r = 325 \text{ МПа}$.

Имеем $331,8 > 215,0$, т.е. условие (12) не выполняется и прочность трубопровода не обеспечена.

Устойчивость стенки трубы не обеспечена, т.к. условие (14) не выполняется : $331,8 > 0,9 \cdot 338,4$, т.е. $331,8 > 304,3 \text{ МПа}$

По формуле (24)

$$\nu = 0,3 \text{ м}$$

С целью снижения продольных напряжений следует использовать пригрузку, уменьшить величину угла поворота или увеличить глубину заложения трубопровода.

Определяем длину изогнутого участка по формуле (25)

$$L = 29 \text{ м.}$$

2. Найдем необходимый вес одиночного груза из условия обеспечения прочности поворота.

2а) груз расположен на повороте

Примем $\nu_0 = 0,2$. Найдем при $\beta = 2$ и $\omega_0 = 0,2$, $\omega = 0,285$ и

$$K = 1,411$$

По формулам (23), (22) и (21) находим :

$$N = 383900 \text{ н, } M = 365923,2 \text{ нм, } \sigma_{пр} = 254,3 \text{ МПа.}$$

Таким образом, при расположении одиночного груза на повороте при $\nu_0 = 0,2$, прочность не обеспечивается, так как $254,3 > 215,0 \text{ МПа}$

Примем $\nu_0 = 0,4$

при $\beta = 2$ и $\nu_0 = 0,4$ найдем $\omega = 0,2263$, $K = 1,561$.

По формулам (23), (22) и (21) находим:

$N = 684040 \text{ н}$, $M = 1681419,6 \text{ н.м.}$, $\sigma_{\text{пр.}} = 212,7 \text{ МПа}$
при $V_0 = 0,4$ имеется запас прочности.

Найдем необходимый вес груза по формуле (32).

$$P = 160000 \text{ н}$$

2б) расположим груз на расстоянии $0,33 \text{ м}$ при $V_1 = 1,5$.
при $\beta = 2$ и $V_1 = 1,5$ найдем $\omega = 0,1891$, $K = 2,1897$.

По формулам (23), (22) и (21) находим:

$N = 1849700 \text{ н}$, $M = 1404664,2 \text{ н.м.}$, $\sigma_{\text{пр.}} = 214,3 \text{ МПа}$,

при $V_1 = 1,5$ и при расположении груза на расстоянии $0,33 \text{ м}$ имеется запас прочности.

Найдем необходимый вес груза по формуле (32):

$$P = 510000 \text{ н}$$

Длину изогнутого участка определим по формуле (25)

$$L = 15,78 \text{ м.}$$

Определим расстояние, на котором расположен груз P_1 :

$$L_1 = 0,33 \cdot L = 0,33 \cdot 15,78 = 5,21 \text{ м.}$$

2) расположим груз на расстоянии $0,67 \text{ м}$ при $V_1 = 3,0$
при $\beta = 2$ и $V_1 = 3$, найдем $\omega = 0,1746$ $K = 2,3454$

По формулам (23), (22) и (21) найдем:

$N = 2118430 \text{ н}$, $M = 1296896,0 \text{ н.м.}$, $\sigma_{\text{пр.}} = 209,7 \text{ МПа}$

при $V_1 = 3$ имеется запас прочности.

Находим необходимый вес груза по формуле (32)

$$P = 10^6 \text{ н.}$$

Найдем длину изогнутого участка по формуле (25).

$$L = 9,89 \text{ м}$$

Найдем расстояние, на котором расположен груз P_1 :

$$L_1 = 0,67 \cdot L = 0,67 \cdot 9,89 = 6,626 \text{ м}$$

Таким образом, пригрузка в $16 \cdot 10^4 \text{ н}$, расположенная на повороте, обеспечивает прочность и устойчивость заданного трубопровода. Если пригрузку расположить на расстоянии 15 м от поворота, то потребуются груз в $51 \cdot 10^4 \text{ н}$ для обеспечения прочности заданного трубопровода.

Программа расчета и номограммы для иллюстрации изменения напряжений и перемещений даны в Приложениях 2 и 3.

3. Поворот выполнен гнутым коленом и пригружен сплошной нагрузкой.

3а) сплошной груз расположен вблизи поворота.

Интенсивность сплошного груза $q = \sigma_1 - 1$ По формулам (26),
(37) и (38), (39) находим при $\beta = 2$, и $Z = 2,34$, $q = 1,85$, $\omega = 0,3858$
 $K = 1,17$ $V_1 = 0,1384$.

По формулам (23), (22) и (21) находим

$$N = 115170Н, M = 2865777,6 \text{ н.м.}, \sigma_{\text{пр.}} = 559,4 \text{ МПа}$$

имеем $\sigma_{\text{пр.}} > R_2$, т.е. прочность поворота не обеспечена.

3б) поворот выполнен гнутым коленом и пригружен сплошной нагрузкой с интенсивностью $\delta_1 = \frac{q_1}{q} = 1$ на расстоянии 0,15 L.

По формулам (26), (37), (38), (39), (23), (22), (21) находим

$$\alpha = 1,46 \quad \omega = 0,2492, \quad K = 1,83, \quad \tilde{\nu} = 0,0434.$$

$$N = 124244 \text{ ОН}, \quad M = 1850942,0 \text{ н.м.}, \quad \sigma_{\text{пр.}} = 399,1 \text{ МПа.}$$

Имеем $\sigma_{\text{пр.}} > R_2$, т.е. прочность поворота не обеспечена.

3в) поворот пригружен сплошными грузами с интенсивностью

$$\delta_1 = \frac{q_1}{q} = 1 \text{ на участке } 1,5L \text{ и с интенсивностью } \delta_2 = \frac{q_2}{q} = 1.$$

на всем изогнутом участке, тогда:

$$\omega = 0,1449, \quad \tilde{\nu} = 0,0149, \quad K = 2,24 \quad Q = 1,11 \quad N = 1947420Н,$$

$$M = 1076448,8 \text{ н.м.}, \quad \sigma_{\text{пр.}} = 267,2 \text{ МПа.}$$

Имеем $\sigma_{\text{пр.}} < \psi_3 \frac{C}{H} R_2^H$, т.е. прочность поворота обеспечена.

3г) на повороте — два сплошных груза, оба с интенсивностью

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{q_1}{q} = \frac{q_2}{q} = 1 \text{ и оба расположены на всем изогнутом участке.}$$

Тогда по формулам (26), (37), (38), (39), (23), (22), (21) находим

$$\omega = 0,144, \quad Q = 1,08 \quad K = 2,25, \quad \tilde{\nu} = 0,0145.$$

$$N = 1957890Н, \quad M = 1069829,2 \text{ н.м.}, \quad \sigma_{\text{пр.}} = 266,0 \text{ МПа.}$$

По формулам (15) и (14)

$$\sigma_{\text{кр.}} = 304,6 \text{ МПа}$$

Таким образом, устойчивость стенки трубы обеспечена, так как $266,0 < 0,9304,6 \text{ МПа.}$

Прочность трубопровода не обеспечена, так как

$$\sigma_{\text{пр.}}^H > \psi_3 \frac{C}{H} R_2^H, \text{ т.е. } 266,0 > 215,0 \text{ МПа.}$$

Из расчетов видно, что сплошная нагрузка с интенсивностью $\delta_1 = 1$, расположенная на расстоянии 0,15 L не обеспечивает прочность и устойчивость данного трубопровода. Для обеспечения прочности следует выбрать нагрузку с интенсивностью $\delta_1^2 = 1$ и расположить ее на расстоянии 1,5 L и нагрузку с интенсивностью $\delta_2 = 1$ на всем изогнутом участке.

Пример 2.

Нефтепровод диаметром 1,02 м и толщиной стенки 0,12 м заложен в сухом песчаном грунте на глубине 1,0 м от верхней образующей трубы. Трубопровод имеет угол поворота в вертикальной плоскости, равный 0,21 рад и выполнен с помощью кривой вставки радиусом 40 м. Внутреннее давление в трубопроводе равно 4,0 МПа, а температурный перепад составляет 60°К. Момент инерции, момент сопротивления и площадь сечения трубопровода соответственно равны $4828 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$, $9467 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, $380 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Вес трубы с продуктом 10^4 н/м. Предел текучести материала трубы = $\sigma_T = 360,0$ МПа.

Характеристика грунта: объемный вес $\gamma_{гр} = 1,8 \cdot 10^4$ н/м³, расчетный угол внутреннего трения $\varphi_{гр} = 0,52$ рад., расчетное сцепление $c=0$. Коэффициент перегрузки рабочего давления $\mu = 1,15$.

Согласно п. 3, I имеем $c=1$, $K_H = 1$. Согласно п.3,3. имеем $m=0,9$.

Выполним расчет для различных способов оформления поворота трубопровода.

I. Поворот выполнен холодногнутым коленом.

По формуле (7) получим начальное сжимающее усилие

$$N_0 = 6992210 \text{ н}$$

Здесь
$$F_{сж} = \frac{\pi D^2 \sigma_H}{4} = 0,9467 \text{ м}^2;$$

Согласно (I0) и (II) найдем $q = 43240$ н/м, $\rho = 36240$ н/м.

По графику на рис. 6 для $\frac{h}{D_H} = 0,82$ и для песчаного грунта находим $S_H = 0,375$.

По формуле (13)

$$\psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{166,0}{360,0} \right)^2} - 0,5 \frac{166,0}{360,0} = 0,6862.$$

Здесь $\sigma_{Hц}^H = 166,0$ МПа.

Несущая способность трубопровода по (12)

$$\psi_3 \frac{C}{R_H} \cdot R_2^H = 0,686 \cdot 360,0 = 246,9 \text{ МПа}$$

По формуле (15)

$$\sigma_{HP} = 341,4 \text{ МПа}$$

По формулам (27) и (28)

$$\beta = 1,25$$

$$z = 1,67$$

Согласно алгоритма П.1.3 определяем q, K ; $q = 1,09$ при $Q_0 = 0$; $\gamma_0 = 0$, получим $K = 0,97$, т.е. для случая выполнения поворота круглозагнутым или сварным коленом.

Параметр Q_0 по формуле (31)

$$Q_0 = 0,3$$

При $\beta = 1,25$ и $Q_0 = 0,3$ находим $q = 1,08$. По формуле (33) найдем $K = 0,98$. При новом приближении имеем $q = 1,09$, $K = 0,98$, $Q_0 = 0,31$. Разность между предыдущим и последующим значениями менее 0,01 и поэтому приближение заканчиваем. По формулам (29) и (34) находим $\omega = 0,1473$ и $\bar{\nu} = 0,0231$.

По формулам (22) и (23) находим

$$M = 1157621,1 \text{ н.м.} \quad N = -2366270 \text{ н.}$$

По формуле (21) продольные сжимающие напряжения будут :

$$\sigma'_{\text{пр.}} = 60 \text{ МПа}$$

Имеем $60,0 < 246,9 \text{ МПа}$, т.е. условие (12) выполняется и прочность трубопровода обеспечена.

По формуле (24)

$$V = 0,03 \text{ м}$$

Определим длину изогнутого участка по формуле (25)

$$L = 14,78 \text{ м.}$$

2. Рассмотрим деформацию этого же трубопровода, если он имеет однопролетный переход и поворот на этом переходе, выполненный гнутым коленом с радиусом 40 м и находится под действием продольных сжимающих усилий. Сопротивление поперечным перемещениям на вскрытом участке предлагается равным весу трубы с продуктом, $q_{\text{пр}} = 10^4 \text{ н/м}$, а на подземных участках - весу трубы и предельной несущей способности грунтовой засыпки

$$q_{\text{пр}} = q - q_{\text{гр}} = 33240 \text{ н/м}$$

Длина однопролетного перехода $\beta = 3,61 \text{ м}$.

По формулам (57), (60), (59), (26), (27), (28) и (31) найдем:

$$a_0 = 0,21, \beta = 3,5678, Z = 5,66, \omega = -0,5135, \nu = 0,1471.$$

$$K = 1,5, \alpha = 1,88.$$

По формулам (23), (22) и (21) находим усилие $N = 367120 \text{ н}$, $M = 2485889,9 \text{ н.м.}$, $\sigma'_{\text{пр.}} = 253,0 \text{ МПа}$.

Таким образом, при длине однопролетного перехода 3,61 м напряжение равно $\sigma = 253,0 \text{ МПа}$, т.е. прочность не обеспечивается $253,0 > 246,9 \text{ МПа}$.

Возьмем длину однопролетного перехода, равную $\beta = 11,09 \text{ м}$.

Тогда определим $\omega = 0,5192$, $\nu = 0,1587$, $K = 1,37$, $\alpha = 1,87$, $a_0 = 0,21$, $\beta = 2,5678$, $Z = 5,66$, $N = 520600 \text{ н}$, $M = 2513488,5 \text{ н.м.}$, $\sigma'_{\text{пр.}} = 251,8 \text{ МПа}$.

Таким образом, прочность при длине однопролетного перехода

$\beta = 11,09 \text{ м}$. не обеспечивается, т.к. $251,8 > 246,9 \text{ МПа}$. Увеличим длину перехода, положив $\beta = 18,95 \text{ м}$, тогда $\omega = 0,5064$, $\nu = 0,1651$, $K = 1,28$, $\alpha = 1,87$, $a_0 = 0,2$, $\beta = 3,5678$, $N = 64600 \text{ н.}$, $M = 2451953,0 \text{ н.м.}$, $\sigma'_{\text{пр.}} = 241,9 \text{ МПа}$, $Z = 5,66$, $\beta_{\text{кр.}} = 0,1723$.

Из расчетов видно, что при длине перехода $\beta = 3,5 \text{ м}$, 11 м , 19 м напряжение соответственно уменьшается $\sigma'_{\text{пр.}} = 253 \text{ МПа}$, 251 МПа , 241 МПа . Таким образом, для обеспечения прочности и устойчивости заданного трубопровода, необходимо длину перехода выбрать $\beta = 19 \text{ м}$, что соответствует напряжению $\sigma'_{\text{пр.}} = 241 \text{ МПа}$.

Программа расчета и номограммы изменения напряжений и перемещений даны в Приложениях 2 и 3.

Пример 3. Нефтепровод диаметром 0,82 м и толщиной стенки $1 \cdot 10^{-2}$ м уложен в песчаном грунте на глубине 0,8 м от верхней об-разующей трубы. Трубопровод имеет однопролетный переход длиной 0,5 м. Переход выполнен упругим изгибом, начальная длина волны выпучивания которого 100 м и радиус кривизны 600 м. Внутреннее да-вление в трубопроводе равно 4,0 МПа, а температурный перепад состав-ляет 120°K . Момент инерции, момент сопротивления и площадь сече-ния трубы соответственно равны $2088 \cdot 10^{-6}$ м⁴, $5092 \cdot 10^{-6}$ м³ и $254 \cdot 10^{-4}$ м². Площадь сечения трубы в свету $F_{св} = 5027 \cdot 10^{-4}$ м². Вес трубы с продуктом 6,10 н/м. Предел текучести ма-териала труб $\sigma_T = 420,0$ МПа. Характеристика грунта: объемный вес $\gamma_{гр.} = 1,8 \cdot 10^{-4}$ н/м³, расчетный угол внутреннего трения $\varphi_{гр.} = 0,52$ рад., расчетное сцепление $c_{гр.} = 0$. Коэффициент перегрузки рабочего давления $\mu = 1,15$.

Для участков III категории $m = 0,90$, $\sigma_{тек.} = 320,0$ МПа.

По формуле (7) начальное сжимающее усилие

$$N_3 = 8485210 \text{ н.}$$

Согласно (10) и (11)

$$q = 29860 \text{ н/м}$$

$$\rho = 20490 \text{ н/м.}$$

По графику рис.6 для $\frac{h}{D_H} = 0,975$ и песчаного грунта находим $c_H = 0,43$.

По формуле (13)

$$\psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{160,0}{320,0} \right)^2} - 0,5 \frac{160,0}{320,0} = 0,6512$$

Здесь $\sigma_{H4}^* = 160$ МПа

Несущая способность трубопровода по (12)

$$\psi_3 \frac{c}{R_H} \cdot R_2^* = 0,6512 \cdot 320,0 = 208,3 \text{ МПа}$$

По формуле (15)

$$\sigma_{кр.} = 304 \text{ МПа}$$

Вычислениями находим $a = 0,1$, $q_0 = 0,3$ $k = 0,0203$

$\nu = 0,000003$, $\omega = -0,0005$, $\beta_0 = 0,01$.

Тогда согласно (69)

$$A_0 = \frac{10000^2}{32^2 \cdot 60000} = 84,43 \text{ м}$$

По формуле (63)

$M = -1012,5$ н.м.

Тогда согласно (71)

$$N = 1757930 \text{ н.}$$

По формуле (70) продольные растягивающие напряжения

$$\sigma_{\text{пр}}^{\text{н}} = 212,5 \text{ МПа}$$

Имеем $212,5 > 208,3 \text{ МПа}$, т.е. условие (2) не выполняется, прочность трубопровода не обеспечена.

Устойчивость стенки трубы не обеспечена, т.к. условие (14) не выполняется $212,5 > 203,6 \text{ МПа}$. Прогиб трубопровода незначителен.

Рассмотрим деформацию этого же трубопровода, если он имеет однопролетный переход длиной $\tilde{b} = 7 \text{ м}$. Сопротивление поперечным перемещениям на вскрытом участке предполагается равным весу трубы с продуктом, а на подземных участках - весу трубы и несущей способности грунтовой засыпки. Согласно (10) и (11) $q = 29860 \text{ н/м}$, $P = 20490 \text{ н/м}$.

По формулам (65), (74), (68), (58), (76), (66) $\omega = -0,0416$, $\tilde{V} = 0,0016$, $K = 3,5564$, $\delta_{\sigma} = 0,2999$, $\sigma = 0,68$, $\sigma_0 = 2,519$.

Тогда согласно (76) и (79) $\beta = 1,9340$, $z = 1,39$.

По формуле (70) получим

$$\sigma_{\text{н}} = -12,1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{н}} = -51,9 \text{ МПа}$$

Суммарные продольные сжимающие усилия будут - $64,0 \text{ МПа}$.

Таким образом, при длине однопролетного перехода $7,00 \text{ м}$ напряжение равно $\sigma_{\text{пр}} = -64,0 \text{ МПа}$, прочность трубопровода обеспечена, так как условие (12) выполняется: $64,0 < 208,3 \text{ МПа}$.

По формуле (72) максимальные поперечные перемещения трубопровода равны

$$\tilde{V} = 84,43 \cdot 0,0016 = 0,001 \text{ м}$$

Программа расчета и номограммы для иллюстрации изменения напряжений и перемещений даны в Приложениях 2 и 3.

Программы решения задач на ЭЦВМ "Наири-2"

П.4.1. Программа расчета поворота трубопровода, оформленного гнутым коленом и пригруженного одиночным грузом.

$l = 3 \text{ ч м ц л с р я в ш } \mathcal{K} \text{ н}$

1. Введем ф б и ч ш ч_I м_I м₂ м₃ m ц_I ц₂ g t n_I

Л₂ Л₃ Ш f C₂ P₀ P_I

2. Допустим a = 0, I

3. Вычислим $y = L_1 + (0,8L_2(\Phi+26) (C_2+6(\Phi/2)-0,39. (\Phi+26))) + (0,8L_2(C_2+6\Phi/2)^2 g 0,7L_3) + (0,8C_2(C_2+6\Phi/2) / \cos 0,7L_3)$

4. Вычислим $\mathcal{K}_1 = 25,24 t + 0,31416 g \Phi^2$

5. Вычислим $z = \mathcal{K}(-0,2926(\exp((1/3)\ln(C_2/(\Phi+26)))) + (0,6483 \sqrt{(C_2/(\Phi+26))}) + 0,05) + \mathcal{K}(-0,4733(\exp((1/3)\ln(C_2/(\Phi+26)))) + (0,8335 \sqrt{(C_2/(\Phi+26))}) + 0,09)$.

6. Вычислим $P = 0,8L_1 t g L_3 + 5,026L_2 z (\Phi+26)^2 t g L_3 + I,5072C_2 x (\Phi+26)$

7. Вычислим $v_1 = \mathcal{K}_1^{exp}((1/3) \cdot \ln(tg^3 f / (2100000 \text{ и} y^2)))$

8. Вычислим $Z = \sqrt{(2 \text{ рч } tg^3 f / \text{и} \text{ и})} \exp((1/3) \ln((2100000 \text{ и} x (tg f) / y))$.

9. Вычислим $x = (S \sin a) - (a \cos a) / (1 - \cos a)$.

10. Вычислим $\mathcal{K}_0 = (P_0/y) (\exp((1/3)\ln(yx/2100000 \cdot (tg f)^2))$

11. Вычислим $\mathcal{K}_I = (P_I/y) (\exp((1/3)\ln(yx/2100000 \cdot (tg f)^2))$

12. Вставим a = ε + 0,0I

13. Вычислим a_I = 0,4a

14. Вычислим $\theta = \mathcal{K}_I (\exp((1/3)\ln((yx tg^3 f) / (2100000 \text{ и}))))$

15. Вычислим $x = ((\theta(a - tg a) - (\mathcal{K}_0((1/\cos a) - 1)) - (\mathcal{K}_I((\cos a_1) / (\cos a) - 1))) / (\theta + (S \sin(a - 0) - (tg a) (\cos(a - 0))))$.

16. Вычислим $\text{и} = (1/(\exp((1/3)\ln x)))(((\cos(a - 0)) / (\cos a)) - (1/\theta) - (a) + (\theta/2) + ((1/x) (1 + (a^2/2) - (1/\cos a)))) - ((\mathcal{K}_0/x) (((S \sin a) / (\cos a) - a) + ((1/x) (\mathcal{K}_I(a - a_1))))$.

17. Вычислим $v_2 = (\exp((2/3)\ln x)) + Z (\sqrt{\text{и} + ((9,8696 \text{ и}^2 / 16a) (\exp((1/3)\ln x)))))$.

18. Если $v_2 - v_1 < 0$, идти к 12.

19. Вставим a = a - 0,005

20. Вычислим a_I

21. Вычислим c

22. Вычислим x

23. Вычислим θ
24. Вычислим β_2
25. Если $\beta_1 - \beta_2 < 0$ идти к I9
26. Вычислим $\beta = (1 / (\exp((2/3) \ln x))) ((1 / \cos a) - 1 - ((x/0) ((\cos(a-0)) / (\cos a) - 1) - 1) + (1 / (\cos a)) ((\sin_0(\sin a)) + (\sin_1(\sin(a-a_1))))))$.
27. Вычислим $\beta = ((0,7854 \rho_1^2 - (\exp((1/3) \ln(2100000 \theta))) (\exp((2/3) \ln(xy / (\operatorname{tg} f)))))) / \rho_1 + ((\pi (\exp((1/3) \ln y)) (\exp((2/3) \ln(2100000 \theta (\operatorname{tg} f)))))) / \rho_1$.
28. Вычислим $H = \theta (\exp((1/3) \ln(2100000 \theta / y))) (\exp((4/3) \ln(\operatorname{tg} f)))$.
29. Вычислим $\beta_2 = (M_3 M_1 / M_2) (\sqrt{(1 - 0,75 (\rho \rho M_2 / 26 M_3 M_1)^2)} - (0,5 \rho \rho M_2 / 26 M_3 M_1))$.
30. Вычислим $H_1 = ((8,266 / (\phi + 26)) + 0,85) M_1 m$
31. Вычислим $L = a (\exp((1/3) \ln(1/x)) ((2,1 \cdot 10^6 \operatorname{tg} f) / y))$.
32. Вычислим $H_2 = m (H_2 - H_1)$
33. Вычислим $e_1 = 0,4 e$
34. Печатаем с 4 знаками $\beta \beta_2 H_1$
35. Печатаем с 4 знаками $b_1 b_2 e e_1$
36. Печатаем с 4 знаками $H H_2 \pi_1 a_1$
37. Печатаем с 4 знаками $a \rho y p$
38. Печатаем с 4 знаками $\rho_0 \rho_1$
39. Идти к I
40. Кончаем
Исполним I.

П.4.2. Программа расчета поворота трубопровода,
оформленного гнутым коленом и пригруженного
сплошной нагрузкой

- ан
 $L = 3 \text{ ч м ц л с р н а в ш } \rho$
- I. Введем $\phi \text{ б и ч ш ч}_1 \text{ м}_1 \text{ м}_2 \text{ м}_3 \text{ м ц}_1 \text{ ц}_2 \text{ g t}$
 $\text{л}_1 \text{ л}_2 \text{ л}_3 \text{ ш } \rho \text{ f c e g}_1$
2. Допустим $a=0,1$
3. Вычислим $y = \text{л}_1 (0,8 \text{ л}_2 (\phi + 26) (\text{ц}_2 + 6(\phi/2) - 0,39(\phi + 26))) + 0,9 \text{ л}_2 (\text{ц}_2 + 6(\phi/2))^2 \text{ g}_1 + 0,8 \text{ с}_2 (\text{ц}_2 + 6(\phi/2)) / \text{с ш } 0,7 \text{ л}_3$
4. Вычислим $\pi = 25,2 \text{ r t} \cdot 0,3141 \text{ g } \phi^2$

5. Вычислим $z = \text{ш}(-0,2926 (\exp((1/3) \ln(u_2 / (\phi+26)))) + (0,6483 \sqrt{u_2 / (\phi+26)}) + 0,05 + \text{ш}(-0,4733 / \exp((1/3) \ln(u_2 / (\phi+26)))) + (0,8335 \sqrt{u_2 / (\phi+26)}) + 0,09$
6. Вычислим $p = 0,8 \ln_1 \text{tg} \ln_3 + 5,024 \ln_2 \ln_3 + 5,5072 \ln_2 \ln_3 + 1,5072 \ln_2 (\phi+26)$
7. Вычислим $v_1 = \text{ш} \exp((1/3) \ln(\text{tg}^2(21,10^5 \text{ и } y^2)))$.
8. Вычислим $z = (\sqrt{(2 \text{рч} (\text{tgf})^3) / (\text{уи}))} (\exp((1/3) \ln((21,10^5 \text{ и } (\text{tgf}) / y))))$
9. Вычислим $x = ((\sin a) - (\cos a)) / (1 - (\cos a))$
10. Вычислим $\sigma_1 = (g_1 / y)$
11. Вставим $a = a + 0,15$
12. Вычислим $a_1 = 0,75a$
13. Вычислим $o = \text{ш}_1 (\exp((1/3) \ln(ux / 2100000 \text{ и}))) (\exp((2/3) \ln(\text{tgf})))$
14. Вычислим $x = ((a - \text{т}a) + (\sigma_1 (a_1 - ((\sin a_1) / (\cos a)))) / (1 + ((\sin(a-0)) / 0) - ((\text{т}ga) (\cos(a-0))) / o))$
15. Вычислим $y = (1 / (\exp((1/3) \ln x))) (((\cos(a-0)) / (o(\cos a))) - 1 / o - (a) + (0/2) + ((1/x) (1 + (a^2/2) - (1/\cos a))) - ((\sigma_1/x) ((a_1^2/2) - (aa_1) - 1 + ((\cos(a-a_1)) / (\cos a))))$
16. Вычислим $v_2 = (\exp((2/3) \ln x) + Z(\sqrt{(\sqrt{y^2}) + (9,8696 \text{ и}^2 / 16a)} (\exp((2/3) \ln x))))$
17. Если $v_2 - v_1 \leq 0$ идти к 13
18. Вставим $a = a - 0,01$
19. Вычислим a_1
20. Вычислим o
21. Вычислим x
22. Вычислим y
23. Вычислим v_2
24. Если $v_1 - v_2 < 0$ идти к 22
25. Вычислим $ж = ((1 / (\cos a)) - 1 - (x/o) (((\cos(a-0)) / (\cos a)) - 1) + (\sigma_1 / (\cos a)) ((\cos(a-a_1)) - (\cos a)))$
26. Вычислим $b = ((0,7834 \text{ г} \text{т}^2 - ((\exp((1/3) \ln(2100000 \text{ и}))) (\exp((2/3) \ln(xu / (\text{т}gf)))) / u) + ((ж(\exp((1/3) \ln y)) (\exp((2/3) \ln(2100000 \text{ и } (\text{т}gf)))))) / ш)$
27. Вычислим $n = \text{ш} (\exp((1/3) \ln(2100000 \text{ и } y))) (\exp((4/3) \ln(\text{т}gf)))$
28. Вычислим $m = (m_2 m_1 / m_2) (\sqrt{1 - 0,75 \text{ г} \text{т}^2 / 20 m_2 m_1^2}) - (0,5 \text{ г} \text{т}^2 / 2 \text{ б} m_2 m_1)$
29. Вычислим $m_1 = ((8,266 / (\phi+26)) + 0,85 \text{ м})$
30. Вычислим $n_2 = \text{т}(u_2 - u_1)$

31. Вычислим $L = a(\exp((1/3) \ln((1/x)((2,1 \cdot 10^6 \text{ и } \lg f / g))))$
 32. Вычислим $L_1 = 0,25 L$
 33. Печатаем с 4 знаками в $v_1 v_2$
 34. Печатаем с 4 знаками $m_2 m_1 n n_2$
 35. Печатаем с 4 знаками $f_4, y p$
 36. Печатаем с 4 знаками $a o l l$
 37. Идти к I
 Кончаем
 Исполним I.

П.4.3. Программа расчета трубопровода, закрепленного от продольных перемещений, на "выпуклых" участках при выполнении поворота коленом

ап

$i = 3$ ч м у л с р а в ш а и $x e l u$

I. Введем ϕ и б ч $w t g$ $l_1 l_2 l_3$ $c_1 c_2$ $\sigma_2 f u$ $e s l_1 l_2 l_3$
 $m_1 m_2 m_3$ $k_1 k_2$ $\phi_1 \phi_2 \phi_3$

- Допустим $a = 0,1$
- Вычислим $y = l_1 + (0,8 l_2 (\phi + 26)(c_2 + 6(\phi/2) - 0,39(\phi + 26))) + (0,8 l_2 (c_2 + 6 + \phi/2)^2 t g 0,7 l_3) + 0,8 o_2 (c_2 + 6 + \phi/2) / \cos 0,7 l_3$
- Вычислим $x_7 = 25,2 c t + 0,3141 g \phi^2$
- Вычислим $z = \sigma_2 (-0,2926 (\exp((1/3) \ln(c_2 / (\phi + 26)))) + (0,6483 \sqrt{c_2 / (\phi + 26)}) + 0,05 + 5((-0,4733 / \exp((1/3) \ln(c_2 / (\phi + 26)))) + (0,8335 \sqrt{c_2 / (\phi + 26)}) + 0,09)$
- Вычислим $p = 0,8 l_1 t g l_3 + 5,024 l_2 z (\phi + 26)^2 t g l_3 + 1,5072 x x_2 (\phi + 26)$.
- Вычислим $v_1 = x_7 \exp((1/3) \ln(t g^2 f (2100000 i u^2)))$
- Вычислим $z = (\sqrt{(2 p (t g f)^3) / (y i)}) (\exp((1/3) \ln((2100000 m u (t g f (1/y))))))$
- Вычислим $x = (\sin a) - (\cos a) / (1 - \cos a)$
- Вставим $a = a + 0,1$
- Вычислим $o = ((c_1 (t g f)) (\exp((1/3) \ln(x) / (2100000 \text{ и } x (t g f))))))$.
- Вычислим $x = (a - (t g a)) / (1 + ((\sin(a - o)) / o) - ((t g a) / \cos(a - o))) / o$
- Вычислим $y = (1 / (\exp((1/3) \ln x))) (((\cos(a - o)) / (\cos a)) - (1/o) a + (o/2) + ((1/x) (1 + (a^2/2) - (1 / (\cos a))))))$.
- Вычислим $v_2 = (\exp((2/3) \ln x)) + z (\sqrt{y + (9,8696 \text{ и } 2/16 a) (\exp((1/3) \ln x))})$
- Если $v_2 - v_1 < 0$ идти к 10

16. Вставим $a = -0,005$
17. Вычислим o
18. Вычислим x
19. Вычислим $й$
20. Вычислим v_2
21. Если $v_1 - v_2 < 0$ идти к 16
22. Вычислим $\mathcal{E}_3 = ((\exp((1/3) \ln(2100000и))) (\exp((2/3) \ln((ху) / (tgf))))))$
23. Допустим $\mathcal{E}_4 = m_1 + m_2 + m_3$
24. Вычислим $л = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_4 - \mathcal{E}_3) / \rho$
25. Вычислим $ч_3 = (\mathcal{E}_4 ((\exp((1/3) \ln(1/2100000и))) (\exp((2/3) \ln(tgf/y))))))$
26. Вычислим $ц_3 = L_1 / л$
27. Вычислим $и_1 = (((y/2\rho) (и/ч)) (\exp((1/3) \ln(y/(2100000х и(tgf^4)))))) (ц_3(v_2 - (\exp((2/3) \ln(k)) - ч_3)))$
28. Вычислим $ж = (1/(\exp((2/3) \ln(x))) ((x/o) ((\cos(a-o)) / (\cos a) - 1)) - (1/\cos a) - 1)$
29. Вычислим $\mathcal{E}_6 = 0,7854 g \Phi^2 - ((\exp((1/3) \ln(2100000и))) (\exp((2/3) \ln(ху/(tgf))))))$
30. Вычислим $\delta = (\mathcal{E}_2 / ч - (ж(\exp((1/3) \ln y)) (\exp((2/3) \ln(2100000и (tgf)))))) / ш$
31. Вычислим $н = й (\exp((1/3) \ln(2100000и/y))) (\exp((4/3) \ln(tgf)))$
32. Вычислим $н_2 = (m_3 m_1 / m_2) (\sqrt{1 - 0,75 (g \Phi m_2 / 26 m_3 m_1)^2}) - (0,5 g \Phi m_2 / 26 m_3 m_1)$
33. Вычислим $м_1 = ((8,266 / (\Phi + 26)) + 0,85) m_1 m$
34. Вычислим $л = a / (\exp((1/3) \ln(ух/2100000и (tgf))))$
35. Вычислим $н_2 = m(ц_2 - ц_1)$
36. Печатаем с 4 знаками $a o v_1 v_2$
37. Печатаем с 4 знаками $у р z$
38. Печатаем с 4 знаками $х й ж б$
39. Печатаем с 4 знаками $ч_3 ц_3 м н_2$
40. Печатаем с 4 знаками $и_1 л л_1$
41. Печатаем с 4 знаками $ы_1 ы_2$
42. Идти к 1
43. Кончаем
- Исполним. I.

П.4.4. Программа расчета однопролетного перехода,
если поворот выполнен коленом

ап

 $\dot{L} = \text{э ч м ц л с р я в ш ж н с у}$

1. Введем ϕ б и ч ш $ч_1$ $м_1$ $м_2$ $м_3$ $м_{ц_1}$ $ц_2$ $g_{л_1}$ $t_{л_2}$ $л_3$
 c_2 $щ$ f v
2. Допустим $a = 0,1$
3. Вычислим $y = л_1 + (0,8л_2(\phi+26) (ц_2+6(\phi/2)-0,39(\phi+26))) +$
 $+ (0,8л_2(ц_2+6+\phi/2)^2 tg 0,7л_3) + 0,8c_2 (ц_2+6+\phi/2) / \cos 0,7л_3$
4. Вычислим $g_1 = 25,24t + 0,31416 g^2$
5. Вычислим $э = щ (-0,2926 (\exp((1/3)\ln(ц_2/(\phi-26)))) + (0,6483 \sqrt{}$
 $(ц_2/(\phi+26))) + 0,05) + g (-0,4733/\exp((1/3) \ln(ц_2/(\phi+26)))) +$
 $+ (0,8335 \sqrt{(ц_2/(\phi+26))}) + 0,9$
6. Вычислим $p = 0,8л_1 tg л_3 + 5,024 л_3 (\phi+26)^2 tg л_3 + 1,5072c_2(\phi+26)$
7. Вычислим $b_1 = g_1 \exp((1/3) \ln (tg f^2 (2100000 \text{ и } л_1^2)))$
8. Вычислим $y_1 = y - л_1$
9. Вычислим $z = (\sqrt{(2p^4 (tg f)^3 / (л_1 \text{ и }))) \cdot (\exp ((1/3)$
 $\ln((2100000 \text{ и } tg f) / л_1)))$
10. Вычислим $\kappa = (' \sin a) - (a(\cos a)) / (1 - (\cos a))$
11. Вставим $a = a + 0,05$
12. Если $v - L < 0$ идти к 15
13. Допустим $b_0 = a$
14. Идти к 16
15. Вычислим $v_0 = (\kappa b) / 2$
16. Вычислим $o = ч_1 (\exp((1/3) \ln (л_1 x / 2100000 \text{ и }))) (\exp((2/3)$
 $\ln (tg f))$
17. Вычислим $x = ((a - (tg a) + ((y_1 / л_1) (a - (tg a) - (v_0) + ((\sin v_0) /$
 $(\cos a)))) / (1 +) \sin(a - o)) / o - ((tg a) (\cos(a - o)) / o))$
18. Вычислим $\eta = (1 / (\exp((1/3) \ln x))) (((\cos(a - o)) / (o - (\cos a))) +$
 $+ (o/2) - (1/o) - a + ((1/x) (1 + (a^2/2) - (1 / (\cos a)))) + (((y_1 / л_1) / x)$
 $(((\cos(a - (v_0))) / (\cos a)) - (1 / (\cos a)) + ((a - (v_0))^2 / 2)))$
19. Вычислим $v_2 = (\exp((2/3) \ln \eta)) + z (\sqrt{(\eta + ((9,8696 \eta) / 16a)$
 $(\exp((1/3) \ln x)))))$
20. Если $v_2 - v_1 < 0$ идти к 11
21. Вставим $a = a - 0,01$
22. Если $v - L < 0$ идти к 25
23. Допустим $v_0 = 0$
24. Идти к 26

25. Вычислим $v_0 = (kv)/2$
 26. Вычислим o
 27. Вычислим x
 28. Вычислим y
 29. Вычислим v_2
 30. Если $v_1 - v_2 < 0$ идти к 2I.
 31. Вычислим $\kappa = (1/(\exp((2/3)\ln x))) (((1/(\cos a)) - 1) - ((x/o) ((\cos a - 1)/(\cos a)) - 1) + ((y_1/l_1)/(\cos a)) (1 - (\cos a - v_0))))$
 32. Вычислим $b = ((0,7854 g \Phi^2 - ((\exp((1/3)\ln(2100000 \text{ и}))) (\exp((2/3)\ln(x l_1 / (tg f)))))) / 4) - (z(\exp((1/3)\ln y)) (\exp((2/3)(2100000 \text{ и} (tg f)))))) / \pi$
 33. Вычислим $n = y (\exp((1/3)\ln(2100000 \text{ и} / y))) (\exp((4/3)\ln(tg f)))$
 34. Вычислим $m_2 = (m_3 m_1 / m_2) (\sqrt{(1 - 0,75(g \Phi m_2 / 26 m_3 m_1)^2)}) - (0,5 g \Phi m_2 / 26 m_3 m_1)$
 35. Вычислим $b_1 = ((8,266 / (\Phi + 26)) + 0,85) m_1 m$
 36. Вычислим $b_2 = m(\alpha_2 - \alpha_1)$
 37. Вычислим $L = (a(\exp((1/3)\ln((1/x) (2,1 \cdot 10^6 \text{ и} tg f) / y))))$
 38. Вычислим $v_0 = (kv)/2$
 39. Вычислим $v_0 = a$
 40. Печатаем с 4 знаками b в $v_1 v_2$
 41. Печатаем с 4 знаками $- b_2 b_1 H H_2$
 42. Печатаем с 4 знаками $\pi_1 v_1 y p$
 43. Печатаем с 4 знаками $- a o v_0 L$
 44. Идти к I
 45. Кончаем
- Исполним I.

П.4.5. Программа расчета однопролетного перехода при выподнении поворота упругим изгибом

ал.

$l = \text{з ч м ц л о р н а в ш п л у и}$

1. Введем Φ b и ch l_1 l_2 m_1 m_2 m_3 m α_1 α_2 g l_1 l_2 c_2 π S v

2. Допустим $a = 0,1$, $\kappa = 0,1$, $x = 0,1$, $o = 0,0001$

3. Вычислим $y = l_1 + (0,8 l_2 (\Phi + 26) (\alpha_2 + b(\Phi/2) - 0,39(\Phi + 26))) + (0,8 l_2 (\alpha_2 + b(\Phi/2))^2 tg 0,7 l_3) + 0,8 o_2 (\alpha_2 + b(\Phi/2) / \cos 0,7 l_3)$

4. Вычислим $\pi_1 = 25,2 \pi + 0,31416 g$

5. Вычислим $H_3 = ((L_0^4) / (19,7392c_2))$
6. Вычислим $v_1 = ((\mathcal{E}_1 / (2100000i)) (\sqrt{(2100000i n_3 / l_1)}))$
7. Вычислим $z = \psi(-0,2926(\exp((1/3) \ln((c_2 / (\phi+26)))))) + (0,6483 \sqrt{(c_2 / (\phi+26))}) + 0,05 + S(-0,4733 / \exp((1/3) \ln((c_2 / (\phi+26)))))) + (0,8335 \sqrt{(c_2 / (\phi+26))}) + 0,09$
8. Вычислим $p = 0,8l_1 \operatorname{tg} l_3 + 5,024l_2 z(\phi+26)^2 \operatorname{tg} l_3 + 1,5072c_2 (\phi+26)$
9. Вычислим $y_1 = y - l_1$
10. Вычислим $Z = (3,14159n_3/4) (\sqrt{(2\pi/i)} (\exp((3/4) \ln(n_3/l_1))) (\exp((1/4) \ln(1/2100000i))))$
11. Вставим $a = a + 0,05$
12. Вычислим $v_0 = 0,25a$
13. Вычислим $o = (L/2) (\exp((1/4) \ln(x l_1) / (2100000n_3i)))$
14. Если $a - o > 0$ идти к 20
15. Вычислим $x = ((a - (\operatorname{tg} a) + (y_1/l_1)(a - v_0 - (\sin(a - v_0)) - (\operatorname{tg} a)(1 - (\cos(a - v_0)))))) / (((3,14159) \cos(3,14159(a/o)))) / (2(3,14159^2 - a_0^2)) ((3,14159 (\operatorname{tg} a) - o(\operatorname{tg}(3,14159(a/o))))))$
16. Вычислим $\# = ((1/x)(1 + (a^2/2) - (1/(\cos a)))) + (0,5(\cos(3,14159(a/o)))) + ((o^2 / (2(3,14159^2 - o^2)))(1 - ((3,14159/o)^2 (\cos(3,14159(a/o)) / (\cos a)))) + (((y_1/l_1)/x))) \cos(a - v_0) / (\cos a) - (1/(\cos a) + ((a - v_0)^2/2))$
17. Вычислим $k = (1/(\sqrt{x}))((1/(\cos a)) - 1 + ((3,14159^2 x / (2(3,14159^2 - o^2)))((\cos(3,14159(a/o)) / (\cos a)) - 1) + ((y_1/l_1) / (\cos a))(1 - (\cos(a - v_0))))$
18. Вычислим $v_2 = (\sqrt{x}) + (Z(\sqrt{((\exp((1/4) \ln(x)) / a)(y^2 + 2y(\sin(3,14159a/2o))^2))}))$
19. Идти к 25
20. Вычислим $x = (a - (\operatorname{tg} a) + (y_1/l_1)(a - v_0 - (\sin(a - v_0)) - (\operatorname{tg} a)(1 - (\cos(a - v_0)))))) / (((3,14159^2 (\cos(a - o))) (\operatorname{tg}(a - o))) / (2(3,14159^2 - o^2))) - ((3,14159^2) \cos(a - o)) (\operatorname{tg} a) / (2(3,14159^2 - o^2)))$
21. Вычислим $y = ((1/x)(1 + (a^2/2) - (1/(\cos a)))) - 0,5 + ((o^2 / (2(3,14159^2 - o^2))) (1 + ((3,14159/o)^2 ((\cos(a - o)) / (\cos a)))) + ((y_1/l_1)/x) (((\cos(a - v_0)) / (\cos a)) - (1/(\cos a) + ((a - v_0)^2/2)))$
22. Вычислим $\# = (1/(\sqrt{x}))((1/(\cos a)) - 1 - ((3,14159^2 x (\cos(a - o))) / (2(3,14159^2 - o^2))) (\cos a)) - (3,14159^2 x / (2(3,14159^2 - o^2))) + (((y_1/l_1) / (\cos a))(1 - (\cos(a - v_0))))$
23. Вычислим $H_3 = ((1/x)(1 + (a^2/2) - (1/(\cos a)))) - 0,5 + ((o^2 / (2(3,14159^2 - o^2))) (((\cos a) (\cos(a - o))) / (\cos a)) - 1) + (((y_1/l_1)/x) (((\cos a) (\cos(a - v_0))) / (\cos a)) - ((\cos a) /$

- $((\cos a) - ((a - v_0)^2 / 2))$.
24. Вычислим $v_2 = (\sqrt{x}) + 2(\sqrt{((\exp((1/4) \ln x)) / o) ((1 + y - y_0)^2 + (((1 + y)^2 (o/a)) (1 - (o/a) + ((1/6, 2832) (5 \ln(6, 28320/a)))) - 1))})$
 25. Вставим $k = k + 1$
 26. Если $k - 1 \geq 0$ идти к I2
 27. Если $v_2 - v_1 \leq 0$ идти к I2
 28. Вычислим $\delta = 0 - 0,01$
 29. Если $k - 1 = 0$ идти к I4
 30. Если $v_1 - v_2 \leq 0$ идти к I4
 31. Вычислим $\delta = (((+2100000(\phi + 2\delta)) / 2c_2) + ((ж(\sqrt{(2100000 H_3 \text{ ил}_1)})) / ш))$
 32. Вычислим $n = \text{ин}_3$
 33. Вычислим $y_2 = (m_3 m_1 / m_2) (\sqrt{(1 - 0,75 (g_{\text{фм}_2} / 26 m_2 m_1)^2)}) - (0,5 g_{\text{фм}_2} / 26 m_3 m_1)$
 34. Вычислим $n_1 = (((0,266 / (\phi + 2\delta)) + 0,85) m_1 m)$
 35. Вычислим $n_2 = m(\pi_2 - \pi_1)$
 36. Вычислим $\int (2a(\exp((1/4) \ln((2, 1 \cdot 10^6 \text{ и } A_0) / (xy))))$
 37. Вычислим $v = 0,25 \int$
 38. Печатаем с 4 знаками $a \text{ о } n_3 \int$
 39. Печатаем с 4 знаками $x \text{ й } v_2 \text{ в } I$
 40. Печатаем с 4 знаками $y_0 \int \int$
 41. Печатаем с 4 знаками $y_2 \text{ y}_1 \text{ n}_2 \text{ v}_0$
 42. Печатаем с 4 знаками $v \text{ n}_3 \text{ у } p$
 43. Печатаем с 4 знаками $n \text{ в}$
 44. Идти к I
 45. Кончаем.
- Исполним I.

НОМОГРАММЫ И СХЕМЫ ДЛЯ ИЛЛЮСТРАЦИИ
ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
ТРУБОПРОВОДА

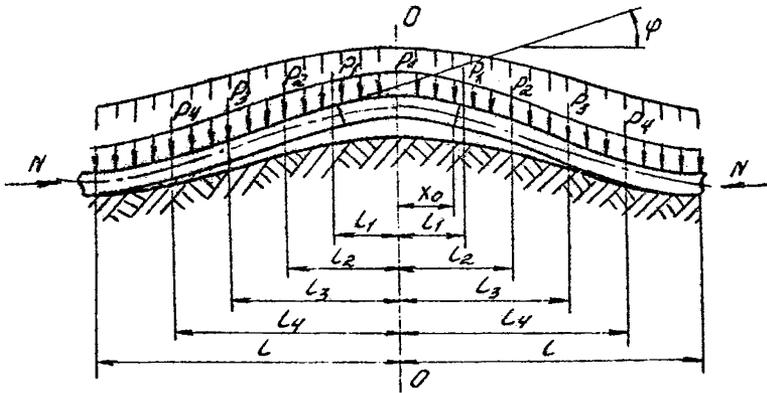


Рис.1. Изгиб трубопровода, пригруженного одиночными грузами, на "выпуклом" рельефе местности

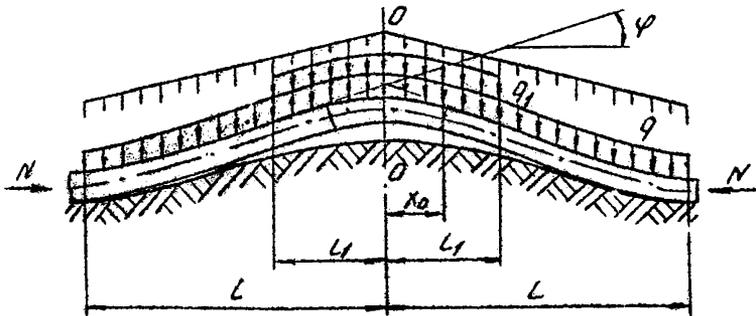


Рис.2. Изгиб трубопровода, пригруженного сплошным грузом на "выпуклом" рельефе местности

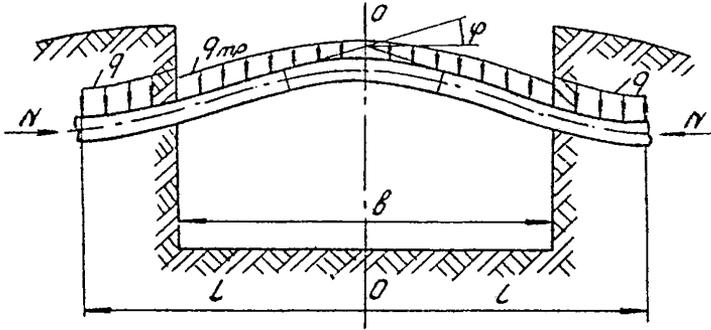


Рис.3. Изгиб однопролетного перехода на "выпуклом" рельефе местности, выполненного коленом

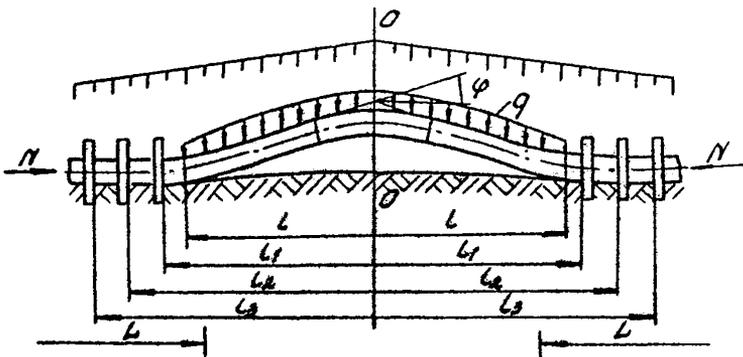


Рис.4. Изгиб трубопровода, закрепленного от продольных перемещений, на "выпуклом" рельефе местности

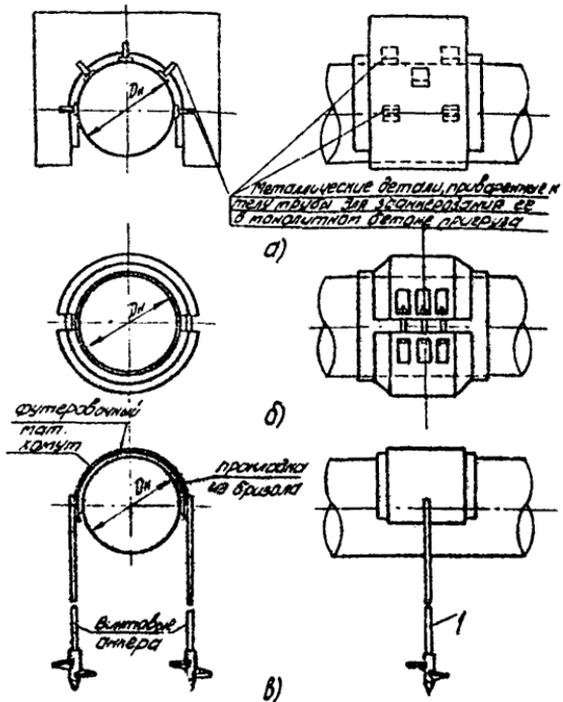


Рис.5 Отдельные типы пригрузов и анкеров, используемых при закреплении трубопроводов

- Одиночный седлообразный железобетонный пригруз, удерживающий трубопровод от продольных и поперечных перемещений;
- одиночный кольцевой железобетонный пригруз;
- винтовое анкерное устройство для трубопроводов, свободных от продольных перемещений

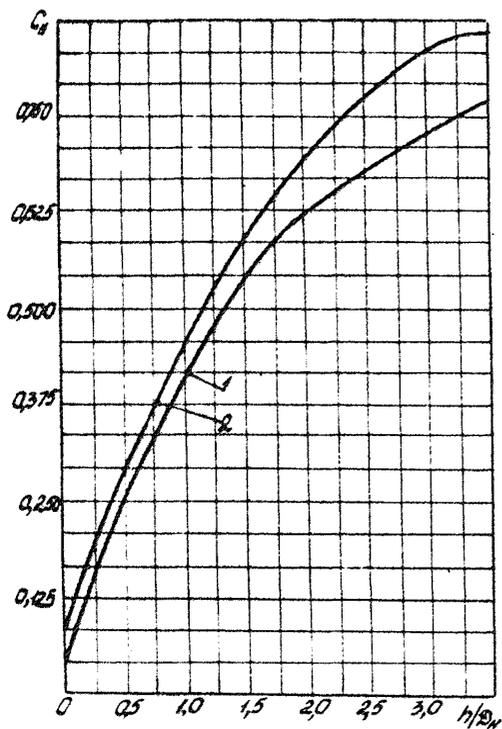


Рис. 6. График для определения коэффициента
1 - песчаные грунты; 2 - глинистые грунты

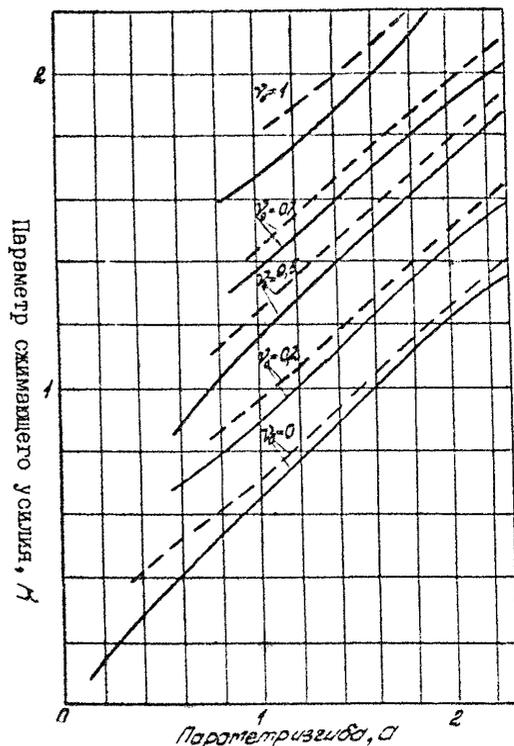


Рис. 7. Зависимость параметра сжимающего усилия от параметра изгиба

----- $\alpha_0 = 0$; ----- $\alpha_0 = 0,5$

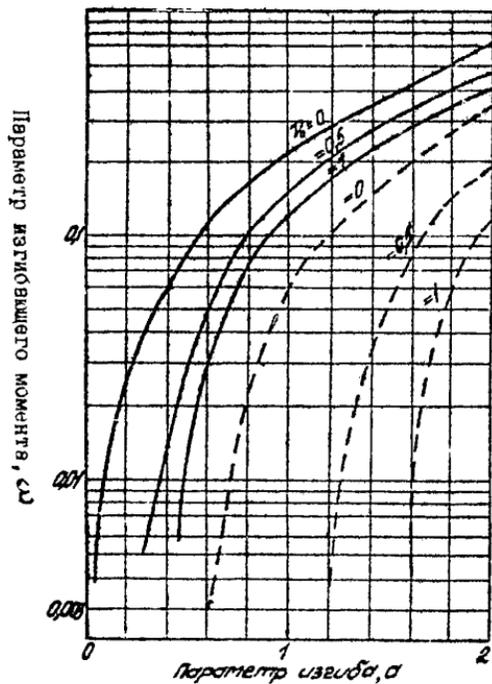


Рис. 8. Зависимость параметра изгибающего момента от параметра изгиба
 - - - - $C_0 = 0$; - - - - $C_0 = 0,5$

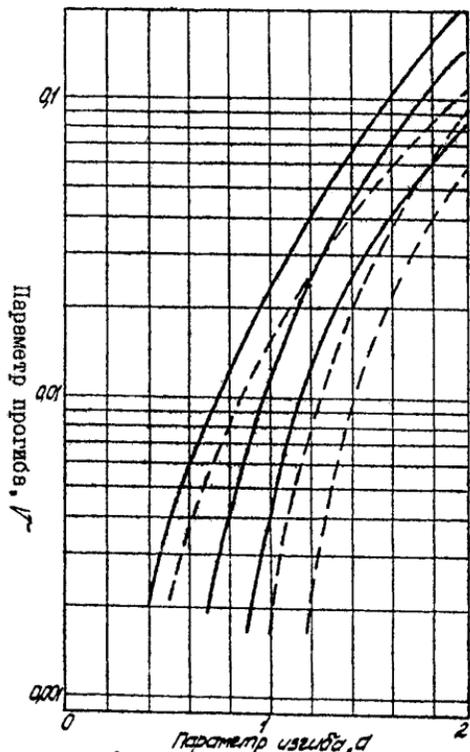


Рис. 9. Зависимость параметра прогиба от параметра изгиба
 - - - - $C_0 = 0$; - - - - $C_0 = 0,5$

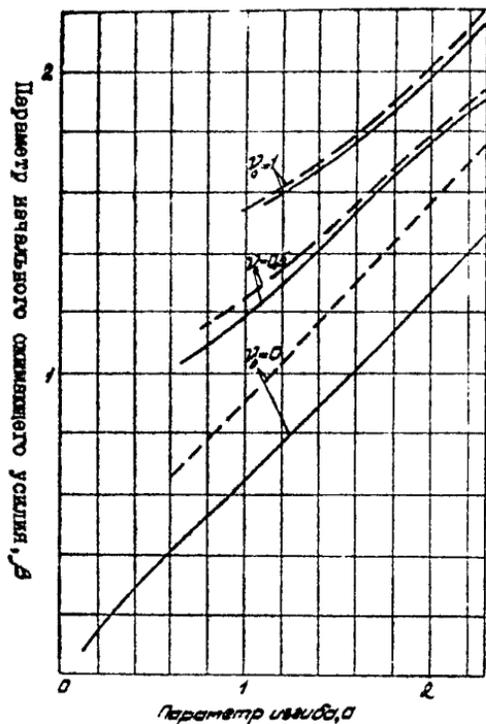


Рис. 10. Зависимость параметра начального сжимающего усилия от параметра изгиба

----- $Q_0 = 0$; ———— $Q_0 = 0,5$

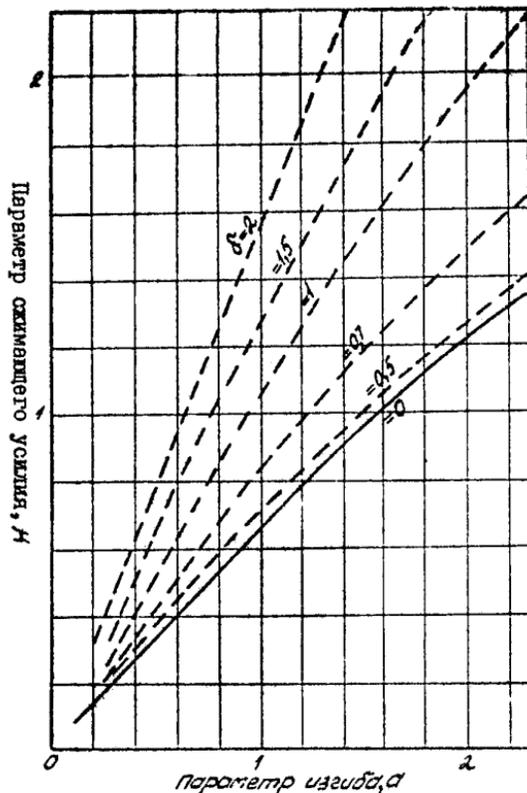


Рис. 11. Зависимость параметра сжимающего усилия от параметра изгиба

----- $Q_0 = 0$; ———— $Q_0 = 0,5$

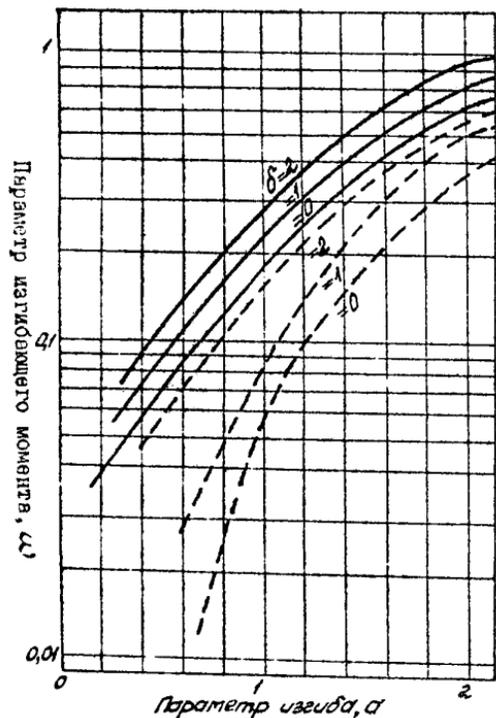


Рис. 12. Зависимость параметра изгибающего момента от параметра изгиба

----- $C_0 = 0$; ----- $C_0 = 0,5$

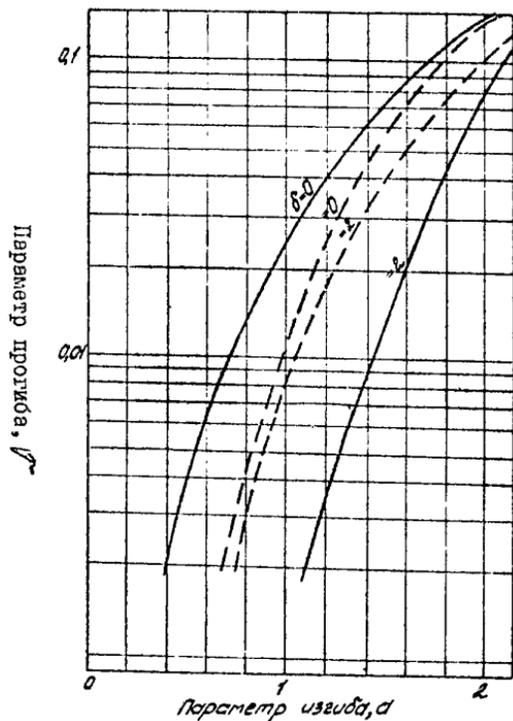


Рис. 13. Зависимость параметра прогиба от параметра изгиба

----- $C_0 = 0$; ----- $C_0 = 0,5$

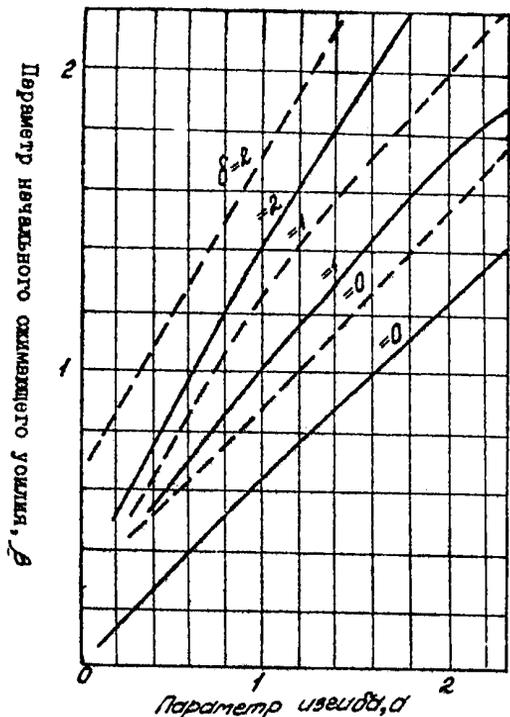


Рис. 14. Зависимость параметра начального сжимающего усилия от параметра изгиба

----- $Q_0=0$; ————— $Q_0=0,5$

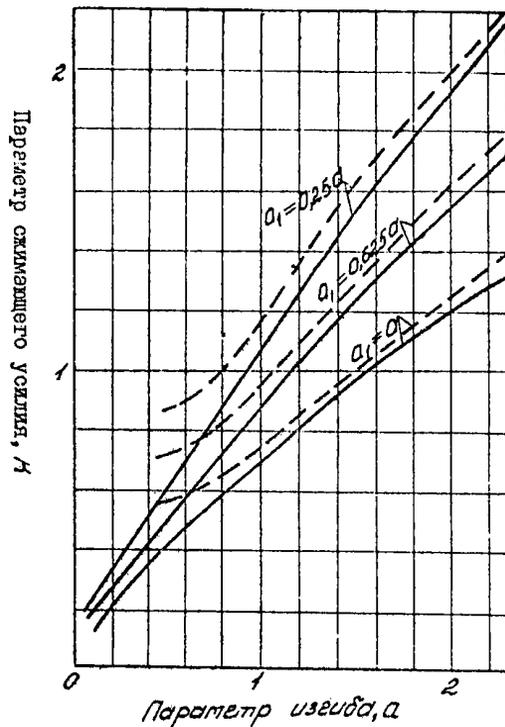


Рис. 15. Зависимость параметра сжимающего усилия от параметра изгиба

----- $Q_0=0$; ————— $Q_0=0,5$

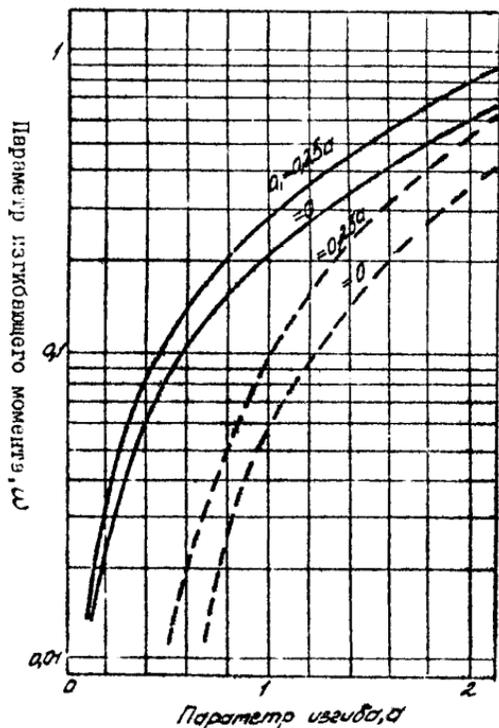


Рис. 16. Зависимость параметра изгибающего момента от параметра изгиба

----- $\alpha_0 = 0$; - - - - - $\alpha_0 = 0,5$

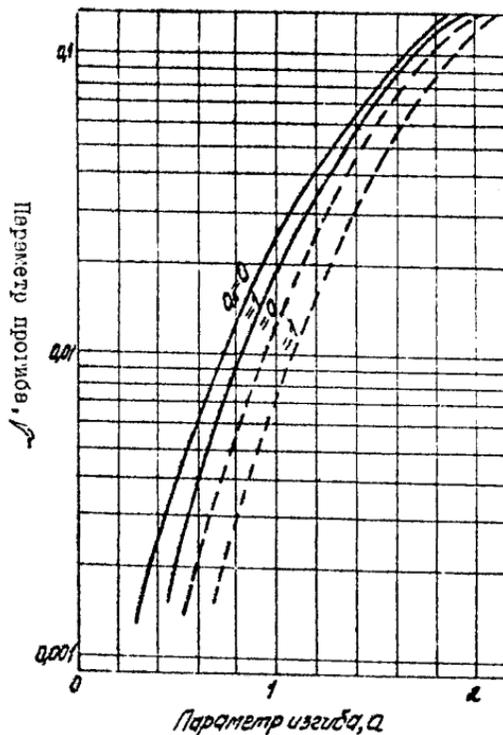


Рис. 17. Зависимость параметра прогиба от изгиба

----- $\alpha_0 = 0$; - - - - - $\alpha_0 = 0,5$

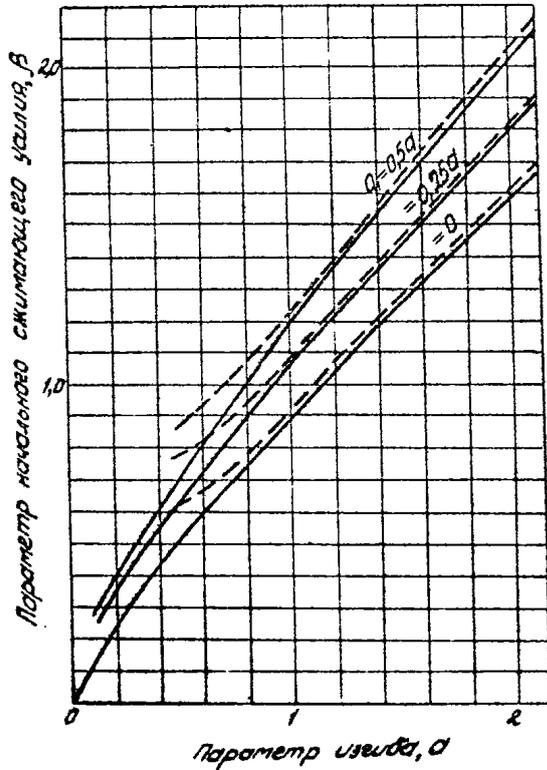


Рис. 18. Зависимость параметра начального сжимающего усилия от изгиба
 ----- $Q_0 = 0$: - - - - - $Q_0 = 0.5$

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Нагрузки и воздействия, возникающие при эксплуатации подземных трубопроводов	5
3. Проверка прочности, деформаций, устойчивости стенки трубы и общей устойчивости трубопровода в продольном направлении	7
4. Выбор рациональной схемы размещения одиночных грузов и анкеров на криволинейном участке подземного трубопровода, выполненном коленом	10
5. Расчет трубопроводов на поворотах, выполненных коленами и пригруженных сплошными грузами	13
6. Выбор схемы закрепления трубопровода от продольных перемещений	15
7. Выбор конструкции однопролетных переходов трубопроводов	17
Литература	23
Приложение I. Порядок расчета трубопровода	24
Приложение II. Расчет трубопровода на ЭЦВМ "Наири-2"	32
Приложение III. Примеры расчета трубопровода на прочность и устойчивость и выбора рациональных конструктивных решений	34
Приложение IV. Программы решения задач на ЭЦВМ "Наири-2"	42
Приложение V. Номограммы и схемы для иллюстрации изменения напряжения и перемещения трубопровода	51

М Е Т О Д И К А
ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ
ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУР-
НОГО ПЕРЕПАДА

РД 39-30-613-81

ВНИИСПТнефть
450055, Уфа-55, пр. Октября, 144/3

Подписано в печать 4.II.82г. ПОЗ747
форма 60x90 1/16. Уч.изд.л.3. I. Тираж 150 экз.
Заказ 199

Ротапринт ВНИИСПТнефти.