МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВНИИСПТнефть

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ДАВЛЕНИЙ В ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

РД 39 - 30 - 1090 - 84

1985

gost.e-ecolog.ru

Министерство нефтяной промышленности

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО СБОРУ, ПОДГОТОВКЕ И ТРАНСПОРТУ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ
(ВНИИСПТнефть)

Утвержден
начальником управления
О.М.Байдиковым
12.04.84

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

М Е Т О Д И К А
РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ДАВЛЕНИЙ В ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

РД 39-30-1090-84

Уфа-1985

Настоящая методика предназначена для работников, занимающихся эксплуатацией магистральных трубопроводов, и позволяет определить предельно допустимое давление нефти с учетом режима эксплуатации подводного нефтепровода и фактического изогнутого положения участков перехода.

Документ разработан Всесоюзным научно-исследовательским институтом по сбору, подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов совместно с Тюменским индустриальным институтом имени Ленинского комсомола.

Ответственные исполнители от ВНИИСПТнефть: к.т.н. Хайруллин Ф.Г., к.т.н. Идрисов Р.Х.; от Тюменского института имени Ленинского комсомола: к.т.н. Колосова Н.М., к.т.н. Дорошенко А.А.

Исполнители: Дорошенко С.И., Богданова А.Н., Осипова Л.А., Пинигина Л.Г., Яблонский Ю.П., Ганова Н.М., Комлева Н.А.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методика расчета предельно допустимых давлений в подводных переходах эксплуатируемых нефтепроводов

РД 39-30-1090-84

Вводится впервые

Приказом Главтранснефти № 86 от 26.06.85 г.
срок введения установлен с 01.07.85 г.
Срок действия до 01.07.90 г.

Настоящая методика предназначена для работников, эксплуатирующих магистральные нефтепроводы, и служит для расчета предельно допустимых давлений в подводных нефтепроводах.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Согласно РД 39-30-II7-78 "Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов" /I/ все участки нефтепроводов, в том числе подводных переходов, должны соответствовать проектному положению, плотно опираться на основание при любом реально возможном режиме эксплуатации.

I.2. Основой расчета предельно допустимых давлений в эксплуатируемых подводных нефтепроводах является положение СНиП II-45-75 /2/.

I.3. С целью обеспечения надежности работы подводных переходов через реки необходимо вести контроль за деформацией русловых процессов и относительным положением трубопровода /I/.

I.4. Обследование подводной части перехода должно производиться в соответствии с "Инструкцией по контролю за строительст-

вом, приемке и эксплуатации подводных переходов магистральных нефте- и продуктопроводов" по утвержденному графику. Результаты обследования заносятся в паспорт или формуляр подводного перехода и дают возможность оценить состояние подводных переходов. Для оценки напряженного состояния подводных нефтепроводов таких данных недостаточно.

1.5. Настоящая методика позволяет определить предельно допустимое давление в конкретных подводных нефтепроводах с учетом режима эксплуатации нефтепровода и фактически изогнутого положения участков перехода.

Методика применяется для участков подводных нефтепроводов, занимающих стабильное положение в закрытой траншее, а также для размытых и провисших участков подводных нефтепроводов.

1.6. Для участков подводных нефтепроводов, занимающих проектное положение, по ряду факторов, имеющих перенапряженное состояние, а также для размытых и провисших участков подводных нефтепроводов должны быть определены все нагрузки и напряжения, возникающие в подводном нефтепроводе.

2. НАГРУЗКИ И НАПРЯЖЕНИЯ В ЭКСПЛУАТИРУЕМОМ ПОДВОДНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ

2.1. Нормативное давление в нефтепроводах, в том числе на участках подводных переходов устанавливается проектом. Однако при эксплуатации подводных переходов нефтепроводов в ряде случаев возникает необходимость определить предельно допустимое давление в трубопроводе.

Это необходимо в случаях отступления от проектного профиля при прокладке, при продолжительной эксплуатации подводных переходов, при необходимости повышения давления в нефтепроводе до

паспортного, появлении размытых и провисших участков на подводном переходе, в случае ремонта подводных переходов без остановки перекачки.

2.2. Согласно СНиП П-45-75 нормативный температурный перепад в металле стенок труб подводного перехода следует принимать равным разнице между максимально возможной температурой в процессе эксплуатации и фактической температурой, при которой фиксируется расчетная схема подводного нефтепровода.

В приведенных ниже таблицах I,2,3,4,5 температурный перепад принят равным $\Delta t = +40^{0}C$.

2.3. Кольцевые напряжения в подводных нефтепроводах от расчетного внутреннего давления равны :

$$\sigma_{кц} = \frac{n \cdot P D_в}{2\delta}, МПа \qquad (I)$$

n - коэффициент перегрузки рабочего давления (нормативного) табл. I2 /2/ ;

P - рабочее (нормативное) давление, МПа ;

$D_в$ - внутренний диаметр, м ;

δ - номинальная толщина стенки трубы , м.

2.4. Нормативное сопротивление $R_2^н$ растяжению (сжатию) металла труб и сварных соединений следует принимать равным минимальному значению предела текучести $\sigma_т$ по государственным стандартам и техническим условиям на поставку труб.

2.5. Расчетные продольные напряжения в стенках труб, возникающие от действия температурного перепада и внутреннего давления равны :

$$\sigma_{пр} = \alpha \Delta t E + \mu \sigma_{кц}, МПа \qquad (2)$$

α - коэффициент линейного расширения металла труб ;

E - модуль упругости материала трубы, $2{,}1 \times 10^5$ МПа ;

μ - коэффициент поперечной деформации, 0,3.

2.6. Напряжения, возникающие в подводном нефтепроводе при упругом изгибе:

$$\sigma_{изг} = \frac{E D_н}{2\rho}, \text{ МПа} \qquad (3)$$

или

$$\sigma_{изг} = \frac{E D_н}{2} y''(x), \text{ МПа} \qquad (4)$$

$D_н$ - наружный диаметр подводного трубопровода, м ;

ρ - проектный радиус упругого изгиба, м ;

y'' - найденные по методу регуляризации вторые производные функции прогиба.

2.7. Для участков подводных нефтепроводов, занимающих проектное положение, напряжение изгиба определяется по проектному радиусу согласно СНиП П-45-75.

Если размах участков незначительный и труба плотно прилегает к основанию, то напряжение изгиба также определяется по проектному радиусу. В случае, если фактическое состояние участка подводного нефтепровода не совпадает с проектным профилем, то напряжение изгиба следует определять по формуле 4. При этом y'' определяется путем восстановления по массиву высотных отметок $\{x_i, y_i\}_n$:

y_i - высотные отметки по верхней образующей трубы, м ;

x_i - шаг замеров по верхней образующей трубы, м ;

x - принимается равным 10 $D_н$.

Программы для расчета y'', $\sigma_{изг}$ на ЭВМ прилагаются. Пример расчета и порядок расчета напряжений изгиба методом регуляризации приводится подробно в /3/ "Методика расчета на прочность участков газопроводов по замерам высотного положения оси".

2.8. При наличии значительных провисших участков подводных нефтепроводов и больших скоростях водного потока в стенках труб дополнительно возникает напряжение от действия вертикальной и горизонтальной составляющей гидродинамической силы, а также в связи с дополнительным изгибом трубопровода из-за его отрицательной плавучести.

В расчетных таблицах I,2,3,4,5 такое дополнительное напряжение не учитывается, так как на подводных переходах УМНЗ и СЗС данные скорости водного потока очень малы.

2.9. В целом в эксплуатируемом подводном нефтепроводе возникают напряжения от действия внутреннего давления нефти, температурного перепада, упругого изгиба.

3. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

3.I. Согласно "Правилам технической эксплуатации магистральных нефтепроводов" /I/ подводные переходы нефтепроводов не должны иметь размытых и провисающих участков. Однако при эксплуатации подводных переходов такие участки возникают. Для решения вопроса о дальнейшей эксплуатации таких подводных переходов нефтепроводов или для назначения сроков ремонта и выбора технологии ремонта должны быть выполнены расчеты фактического напряженного состояния этих участков подводных нефтепроводов.

3.2. Проверка деформаций подводных нефтепроводов выполняется согласно разд. 8 СНиП П-45-75 из условия:

$$\sigma''_{пр(р)} \leq \psi_3 \frac{C}{k_н} R''_2 \equiv [\sigma]_{(р)} , \qquad (5)$$

$\sigma''_{пр}$ - максимальные суммарные продольные напряжения в трубопроводе от нормативных нагрузок и воздействий с учетом коэффициента сочетаний, МПа ;

$\sigma''_{кц}$ – кольцевые напряжения от нормативного давления, МПа ;

C – коэффициент, зависящий от категории участка трубопровода /2/ ;

$K_н$ – коэффициент надежности ;

$\psi_э$ – коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, равен

$$\psi_э = \sqrt{1 - 0{,}75\left(\frac{K_н \sigma''_{кц}}{2R''_2}\right)^2} - 0{,}5\frac{K_н \sigma_{кц}}{CR''_2} \qquad (6)$$

$$\sigma''_{кц} = \frac{P D_в}{2\delta} \qquad (7)$$

Максимальные суммарные продольные напряжения в трубопроводе от нормативных нагрузок и воздействий:

$$\sigma''_{пр} = \sigma^t_c + \mu\sigma''_{кц} \pm \sigma''_{изг}, \text{ МПа} \qquad (8)$$

$$\sigma''_{пр} = -\alpha\Delta t E + \mu\sigma''_{кц} - \sigma^{max}_{изг} \qquad (9)$$

R''_2 – нормативное сопротивление металла трубопровода, МПа.

3.3. Для определения предельно допустимого внутреннего давления удобно строить графики зависимости продольных напряжений $\sigma''_{пр}(P)$. и допустимых напряжений $[\sigma]_{(P)}$ от внутреннего давления, находим области, в которых удовлетворяется условие деформации $\sigma''_{пр} \leq [\sigma], \sigma''_{пр} > [\sigma]$. Точка разграничения этих областей дает максимальное внутреннее давление при эксплуатации участков подводного перехода, соответствует предельно допустимому внутреннему давлению при данном профиле.

На рис. I построены указанные графики и найдено предельно допустимое давление, равное 2,8 МПа.

Для практического пользования выполнены расчетные таблицы I,2,3,4,5 для всех диаметров нефтепроводов с различными прочност-

ными характеристиками сталей.

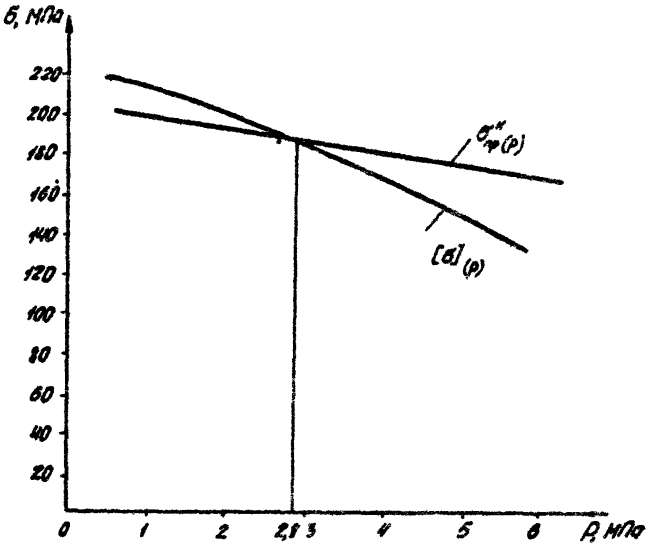


Рис. I. Определение предельно допустимого внутреннего давления на подводном переходе р. Демьянка (II нитка) н/п Нижневартовск-Курган-Куйбышев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. (РД 39-30-II7-78)-М.: Недра, 1979.

2. Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования (СНиП II-45-75)-М.: Стройиздат, 1975.

3. Методика расчета на прочность участков газопроводов по замерам высотного положения оси. Тюмень. Тюменьгипрогаз, 1977.

4. Инструкция по контролю за строительством, приемке и эксплуатации подводных переходов магистральных нефте- и продуктопроводов.-М.: ВНИИОЭНГ, 1976.

5. Демидович В.В. Восстановление функции и её производных по экспериментальной информации", вып. УШ., МГУ, 1967.

6. Гласко В.Б., Заикин П.Н. О программе регулирующего алгоритма для уравнения Фредгольма первого рода. Сб. "Вычислительные методы и программирование", вып. У, МГУ, 1966

Приложение I

ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ ИЗГИБА В ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

П.I.I. Назначение программы

Программа предназначена для определения напряжения изгиба в поперечных сечениях трубопровода. Исходной информацией для расчетов является массив высотных отметок $\{x_i, y_i\}_n$ – координат точек верхней образующей трубы. По этим данным определяются вторые производные, через которые вычисляется напряжение изгиба

$$\sigma_{изг}(x_i) = \frac{E D y''}{2}(x_i), \qquad (I.I.)$$

E – модуль упругости материала трубы;

D – наружный диаметр трубы.

Как известно, задача определения вторых производных функций $y=y(x)$ по отдельным значениям её $\{x_i, y_i\}_n$ является некорректно поставленной задачей, решение которой возможно лишь специальными методами.

В настоящей программе реализован алгоритм, основанный на методе регуляризации А.Н.Тихонова, согласно которому задача восстановления вторых производных сводится к решению интегрального уравнения с регуляризующим параметром α.

Алгоритм реализован для ЭВМ ЕС-1020 на языке фортран IУ, для ЭВМ "Наири-2" на языке АЛ. Ниже приводится описание регуляризующего алгоритма и программы.

П.I.2. Описание алгоритма вычисления вторых производных

Метод регуляризации приближенного решения интегральных уравнений основан на вариационном принципе, согласно которому вторые

производные определяются с помощью параметрического функционала $M_\alpha(\varphi, Z)$, в котором параметр регуляризации α связан с точностью исходной информации. Согласно регуляризующему алгоритму [5] функция должна доставлять минимум функционалу.

$$M_\alpha[\varphi,Z]=\int_a^b\left[A[Z]-\varphi(x)\right]^2dx+\alpha\int_a^b\left[\kappa_1(S)[Z'(S)]^2+\kappa_2(S)Z^2(S)\right]dS \qquad (I.2)$$

a, b – координаты начала и конца расчетного участка, в котором

$$A[Z]=\int_a^b K(x,S)Z(S)dS=\varphi(x) \qquad (I.3)$$

– интегральное уравнение Фредгальма первого ряда.

$$\varphi(x)=y(x)-y(a)-y'(a)(x-a) \qquad (I.4)$$

$$\sum_{j=1}^{n}K(x_i,S_j)Z_jh=\tilde{\varphi}(x_i) \quad i=1,2,3\ldots n \qquad (I.5)$$

$y'(a)$ – начальный угол поворота ;

$\tilde{y}(x_i)$ – замеряемые вертикальные ординаты ;

$\kappa_1(S), \kappa_2(S)$ – некоторые наперед заданные неотрицательные функции, принимаемые в дальнейших выкладках постоянными величинами ;

K – прерывистое ядро.

$$K(x,S)=\begin{cases}x-S & a\le S\le x\\ 0 & x<S\le b\end{cases} \qquad (I.6)$$

Первая часть функционала представляет обычную запись метода наименьших квадратов, вторая – связана с параметром регуляризации и является сглаживающим членом.

Одним из способов минимизации функционала является решение краевой задачи для уравнения Эйлера. Запишем функционал (I.2) в виде:

$$\int_a^b K(S,t)Z(t)dt+\alpha[\kappa_2Z(S)-\kappa_1Z''(S)]=B(S), \qquad (I.7)$$

где $$B(S)=\int_a^b(x-S)\left[y(x)-y(a)-y'(a)(x-a)\right]dx . \qquad (I.8)$$

Исходя из того, что вариации в общем случае равны нулю, следует: искомая функция вторых производных должна удовлетворять естественным усилиям

$$Z'(a)=Z'(b)=0, \qquad (I.9)$$

что неизбежно вызывает по концам расчетных участков значительные неточности в окончательном решении.

Решение окончательных уравнений строим через конечноразностную аппроксимацию на равномерной прямоугольной сетке с шагом. Для удобства совмещаем начало координат с левым концом расчетного участка, длина которого разбита на n частей. Тогда уравнение принимает вид:

$$h\sum_{j=1}^{n}K_{ij}Z_j-\frac{\alpha K_1}{h^2}\left[Z_{i+1}-(2+\frac{K_0}{K_1}h^2)Z_i+Z_{i-1}\right]=B_i, \qquad (I.10)$$

где

$$K_{ij}=h^3\begin{cases}\sum_{k=j}^{n}(k-i)(k-j) & 1\le i\le j\\ \sum_{k=i}^{n}(k-i)(k-j) & j<i\le n\end{cases} \qquad (I.11)$$

$$B_i=h^2\sum_{k=1}^{n}(k-i)(\tilde{y}_k-\tilde{y}_0-kh\tilde{y}_0') \qquad (I.12)$$

Входящий в B_i угол поворота левого конца $\tilde{y}_0'$ следует определять непосредственно по разности соседних ординат левого конца. Следует принимать решение уравнения (I.2), удовлетворяющее условиям (I.9), при этом варьируется параметр регуляризации α, что существенно влияет на роль сглаживающего члена уравнения. Параметр регуляризации будем варьировать согласно рекомендациям

$$\alpha_m=10^m \qquad m=0,1,2,3$$

Выбор оптимального значения параметра регуляризации не формализован, хотя имеются рекомендации [6] выбирать значение параметра по минимуму норм

$$\|Z_{\alpha_{m+1}}-Z_{\alpha_m}\|=\left\{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z_{\alpha_{m+1}}(x_i)-Z_{\alpha_m}(x_i)\right]^2\right\}^{1/2} \qquad (I.13)$$

Однако опыт эксплуатации программы показал, что этот критерий для реальных трубопроводов не работает, поэтому предлагается в качестве окончательного решения выбирать решение при значении параметра $[3,5]$, когда график полученных вторых производных из пилообразного становится гладким.

П.I.3. Описание программы для ЭВМ ЕС-I020

П.I.3.I. Ввод исходной информации

Перечень вводной информации дан в таблице П.I.I. Ограничения на размеры массивов следующие $N \leqslant 50$. Число разных значений параметра регуляризации $\alpha \leqslant 50$.

Пакет исходных данных формируется следующим образом:

- первая карта содержит одно число:

I) количество точек измерений $[x_i\ y_i]-N$

- вторая карта содержит три числа:

2) диаметр трубы - D

3) длина исследуемого участка трубопровода - B

4) шаг измерений по оси $X-F$

- третья карта содержит два числа:

5) начальное значение параметра регуляризации - E

6) конечное значение параметра регуляризации - EI

- далее идут одна или несколько карт, содержащие ординаты точек наблюдений $[y_i]-U(I)$

Таблица П.I.I.

Название реквизита	Обозначение в программе	Форматный код ввода	Замечания
I	2	3	4
I. Число измерений высотного положения верхней образующей трубопровода	N	I 2	

I	2	3	4
2. Диаметр трубы	D	F6.I	
3. Длина по оси X исследуемого участка трубопровода	B	F6.2	
4. Шаг измерений по оси X	F	F6.2	
5. Начальное значение параметра регуляризации	E	E 5,0	
6. Конечное значение параметра регуляризации	E I	E 5,0	
7. Массив ординат точек наблюдений $Y(X_i)$	U	26F3.I	Данный форматный код необходимо менять, если данные не соответствуют этому формату

П.I.3.2. Печать результатов

Перечень выводной информации дан в таблице П.I.2

Таблица П.I.2

Наименование реквизита	Обозначение в программе	Выводной формат	Примечания
I	2	3	4
I. Печатаются входные данные	-	-	
2. Значение параметра регуляризации α	E	F I2.0	
3. Параметр, характеризующий правильность решения системы линейных уравнений	I ER	I5	если IER=0, то система ре-

I	2	3	4
			шена верно IER>0 возможна потеря точности
4. Массив значений второй производной в точках X_i	R	I0D I2.4	
5. Массив напряжений изгиба в точках X_i	σ_T	I0 EI2,4	
6. Массив значений норм для	FC		печатается после последнего шага под

П.I.3.3. Используемые подпрограммы

В программе используется программа решения систем линейных уравнений DGELG из пакета прикладных программ фортрана ДОС ЕС ЭВМ.

Замечание. При запуске программы необходимо в управляющих операторах ставить операторы ASSGN, DLBL EXTENT, которые определяют личную библиотеку объектных моделей, в состав которой входит программа DGELG.

П.I.3.4. Контрольный пример

Для контрольного примера взяты следующие данные:

I) число наблюдений N=25

2) диаметр трубы D=0,72 м

3) длина исследуемого участка B=280 м

4) шаг измерений по оси X : F=20 м

5) начальное значение параметра регуляризации E= $I0^0$

6) конечное значение параметра регуляризации $E = 10^6$

– ординаты точек наблюдения следующие И(I) : 5,3 5,2 4,9 4,3 3,7 3,0 2,3 I,7 I,I 0,6 0,3 0,I 0,I 0,3 0,6 I,I I,7 2,5 3,4 4,4 5,5 6,5 7,5 8,4 9,0 .

П.I.4. Описание программы для ЭВМ "Наири-2"

П.I.4.I. Описание алгоритма

Эта программа отличается от программы для ЕС ЭВМ только тем, что может обрабатывать ровно I5 наблюдений. Если на обрабатываемом участке более I4-ти точек измерения высотного положения верхней образующей трубопровода, то необходимо разбить участок на части , содержащие по I5 измерений. При этом удобно для лучшей стыковки результатов на соседних частях, делать разбиение так, чтобы они пересекались. Опыт использования программы показал, что наиболее удобным является разбиение, когда пересечение соседних частей составляет 5-6 точек измерения.

BD-2242

П.I.4.2. Ввод исходных данных CONSUL.

В данной программе осуществляется бесформатный ввод данных.

Он выполняется в следующей последовательности:

I. Вначале вводятся 2 значения

Расстояние между замерами – м

Диаметр трубы – D, см

2. Затем вводятся I5 значений высотного положения трубы

$1K, K = 0,1 \ldots 14$

3. Затем L раз вводится значение регуляризующего параметра e.

При этом ввод очередного значения параметра e осуществляется после того, как будут напечатаны результаты расчета предыдущего значения e .

П.I.4.3. Печать результатов

В данной программе на печать выдаются значения второй производной U_k

и напряжения изгиба $\sigma_{изг}$. При этом первые 3 и последние 4 значения не печатаются, так как эти крайние значения являются неверными в силу действия краевых эффектов.

П.I.4.4. Контрольный пример

Для контрольного примера взяты следующие данные:

h = 5 м

D = 0,72 м

- ординаты точек наблюдения следующие: 53,0 52,985 52,97 52,955 52,94 52,925 52,9I 52,885 52,98 52,865 52,85 52,75 52,64 52,53 52,42.

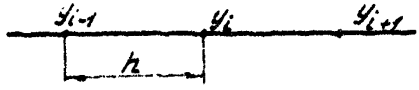
П.I.5. Аналитический расчет напряжений изгиба

Напряжение изгиба при отсутствии ЭВМ вычисляются по формулам:

$$\sigma_{изг}(x_i) = -\frac{ED}{2}y''(x_i), \qquad (I.I4)$$

$$y'' = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2}, \qquad (I.I5)$$

где y_i, y_{i-1}, y_{i+1} - отметки верхней образующей трубы, приняты в следующей последовательности:



h - шаг замеров.

Точность расчета в пределах 5-8%.

Программа для ЭВМ ЕС-1020

```
// JOB IDRISOW
// OPTION LINK
   ACTION NOMAP
// ASSGN SYSRLB,X'193'
// DLBL IJSYSRL,,99/365
// EXTENT SYSRLB,LIBRF4,1,1,10,1000
// EXEC FFORTRAN

  DOS/FS FORTRAN IV V.M 2.0

    OPTIONS IN EFFECT
    -----------------

    LOKD    =0

    DECK    NO

    LIST    YES

    LISTX   NO                                                    DATE    30/01/85
  DOS/FS FORTRAN IV V.M 2.0                  MAINPGM

                  DOUBLE PRECISION R(50),W(2500),W1(2500)
                  COMMON D,B,F,H1,E,E1
                  H1=0.21E+7
                  READ(1,201)N,D,B,F,E,E1
              201 FORMAT(I2/3F6.2/2E5.0)
                  WRITE(3,202)N,D,B,F,H1,E,E1
              202 FORMAT(1X,'N=',I2,2X,'D=',F7.2,2X,
                 1'B=',F7.1,2X,'F=',F6.2,2X,'H1=',E12.5/
                 23X,'E1=',E8.1,2X,'E1=',E8.1//)
                  ND=N+1
                  CALL REGUL(N,ND,R,W,W1)
                  STOP
                  END
  DOS/FS FORTRAN IV V.M 2.0                  MAINPGM                DATE    30/01/85

                  SUBROUTINE REGUL(N,ND,R,W,W1)
                  DOUBLE PRECISION R(N),W(N,ND),W1(N,ND),
                 1U(50),G(50),R2(50),FC(50)
                  COMMON D,B,F,H1,E,E1
                  REAL M
                  READ(1,211)(U(I),I=1,N)
              211 FORMAT(26F3.1)
                  WRITE(3,217)(U(I),I=1,N)
              217 FORMAT(1X,20F6.1)
                  N1=N+1
                  S=0
                  Y=0
                  A=0
                  X=F/2
                  I=1
                  J=1
                4 H=(B**3-A**3)/3-(Y+S)*(B**2-A**2)/2+
                 *S*Y*(B-A)
                  W(I,J)=H*X
                  Y=Y+F
                  J=J+1
```

```
      X=F
      IF(Y-(B-0.01))2,1,1
    1 X=F/2
      IF(Y-(B+0.01))2,2,3
    3 S=S+F
      I=I+1
      Y=0
      A=S
      J=1
      X=F/2
      IF(S-(B+0.01))4,23,23
    2 IF((S-Y).LT.0.01)GOTO 21
   19 A=S
      GOTO 4
   21 A=Y
      GOTO 4
   23 I=1
      J=N+1
      T=0
      S=0
      K=I
      W(I,J)=0
      X=F/2
   24 C=T-S
      M=U(K)-U(1)-T*(U(2)-U(1))/F
      W(I,J)=W(I,J)+C*M*X
      K=K+1
      T=T+F
      X=F
      IF(K-(N-1))24,24,30
   30 X=F/2
      IF(X-N)24,24,32
   32 S=S+F
      I=I+1
      K=I
      T=S
      W(I,J)=0
      X=F/2
      IF(S-(B+0.01))24,35,35
   35 DO 170 I=1,N
  170 R2(I)=0.0
      JI=1
   96 DO 98 I=1,N
```



```
      DO 98 J=1,N1
   98 W1(I,J)=W(I,J)
      WRITE(3,10)E
   10 FORMAT(1X,'E=',F12.0)
      X=F
   99 I=1
      J=1
      W1(I,J)=W1(I,J)+E*(1/X**2+1)
      J=J+1
      W1(I,J)=W1(I,J)-E/X**2
      N2=N-1
      DO 100 I=2,N2
      W1(I,I-1)=W1(I,I-1)-E/X**2
      W1(I,I)=W1(I,I)+E*(2/X**2+1)
  100 W1(I,I+1)=W1(I,I+1)-E/X**2
      W1(N,N-1)=W1(N,N-1)-E/X**2
      W1(N,N)=W1(N,N)+E*(1/X**2+1)
```

```
      DO 102 I=1,N
  102 R(I)=W1(I,N1)
      NN=1
      EPS=0.01E-10
      CALL DGELG(R,W1,N,NN,EPS,IER)
      WRITE(3,111)IER
  111 FORMAT(1X,5I5)
      WRITE(3,105)(R(I),I=1,N)
  105 FORMAT(1X,'ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ'/(10D12.4))
      DO 110 I=1,N
  110 G(I)=N1*D/2*R(I)
      WRITE(3,65)(G(I),I=1,N)
   65 FORMAT(1X,'НАПРЯЖЕНИЯ',/(10E12.4))
      N22=N-2
      FC(JI)=0
      DO 152 I=3,N22
      FC(JI)=FC(JI)+(R(I)-R2(I))**2
  152 R2(I)=R(I)
      FC(JI)=FC(JI)/(N-4)
      FC(JI)=DSQRT(FC(JI))
      JI=JI+1
      E=E-10
      IF(E-E1)96,96,104
  104 WRITE(3,103)(FC(I),I=1,JI)
  103 FORMAT(1X,'НОРМЫ'/(10E12.4))
  401 RETURN
      END
```

DOS/FS FORTRAN IV V.M 2.0 REGUL DATE 30/01/83

Контрольный пример для ЭВМ ЕС-1020

```
// EXEC LNKEDT
// EXEC

M=85  D=   0.72  B=  400.0  F= 20.00  N1= 0.210000E 07
  E1= 0.1E 01  E1= 0.1E 05

   5.3   5.2   4.9   4.3   3.7   3.0   2.3   1.7   1.1   0.6   0.3   0.1   0.1   0.3   0.6   1.1   1.7   2.5   3.4   4.4
   5.5   6.5   7.5   8.4   9.0
E=          1.
     0
ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
 0.157D-03 -0.4698D-03 -0.1114D-02  0.4014E-03 -0.4698E-03 -0.7224D-05  0.4375D-03 -0.1758D-03  0.2410D-03  0.6831E-03
 0.5337D-04  0.5927D-03  0.5898D-03  0.3652E-04  0.7546E-03 -0.2436D-05  0.7024D-03  0.1777D-03  0.1785D-03  0.4961E-03
-0.5791D-03  0.2884D-03 -0.5375D-03  0.3763E-03  0.9233E-06
НАПРЯЖЕНИЯ
 0.1187D 03 -0.3951D 03 -0.8425D 03  0.3835E 03 -0.3546E 03 -0.5461D 01  0.3387D 03 -0.1323D 03  0.1822D 03  0.5164D 03
 0.4859D 02  0.4488D 03  0.4453D 03  0.2746E 02  0.5785E 03 -0.1842D 01  0.5318D 03  0.1343D 03  0.1359E 03  0.3751D 03
-0.4378D 03  0.2121E 03 -0.4864D 03  0.2799E 03  0.6980E 00
E=         10.
     0
ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
 0.1575D-03 -0.4782D-03 -0.1114D-02  0.4003D-03 -0.4683E-03 -0.7378D-05  0.4371D-03 -0.1747D-03  0.2410D-03  0.6827D-03
 0.5485D-04  0.5923D-03  0.5887D-03  0.3699D-04  0.7538E-03 -0.1576D-05  0.7018D-03  0.1779D-03  0.1788D-03  0.4954D-03
-0.5784D-03  0.2795D-03 -0.5369D-03  0.3694D-03  0.9211E-06
НАПРЯЖЕНИЯ
 0.1184D 03 -0.3955D 03 -0.8418D 03  0.3826E 03 -0.3548E 03 -0.5572D 01  0.3385D 03 -0.1321D 03  0.1822D 03  0.5161D 03
 0.4864D 02  0.4473E 03 -0.4451D 03  0.2787E 02  0.5898E 03 -0.1191D 01  0.5385D 03  0.1345D 03  0.1352D 03  0.3745D 03
-0.4357D 03  0.2113E 03 -0.4856D 03  0.2792E 03  0.6964E 00
E=        100.
     0
ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
 0.1584D-03 -0.4742D-03 -0.1104D-02  0.3893E-03 -0.4689E-03 -0.8755D-05  0.4341D-03 -0.1713D-03  0.2411D-03  0.6789D-03
 0.5671D-04  0.5685D-03  0.5861D-03  0.4356E-04  0.7453E-03  0.6832D-05  0.6953D-03  0.1806D-03  0.1812D-03  0.4868D-03
-0.5677D-03  0.2685D-03 -0.5263D-03  0.3695E-03  0.8996E-06
НАПРЯЖЕНИЯ
 0.1198D 03 -0.3985D 03 -0.8348D 03  0.2943E 03 -0.3485E 03 -0.6619D 01  0.3282D 03 -0.1295D 03  0.1822D 03  0.5132D 03
 0.4444D 02  0.4464D 03  0.4431D 03  0.3293E 02  0.5834E 03  0.5165D 01  0.5257D 03  0.1365D 03  0.1378E 03  0.3689D 03
-0.4292D 03  0.2638E 03 -0.5979D 03  0.2747E 03  0.6881E 00
E=        1000.
     0
ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
 0.1665D-03 -0.5251D-03 -0.1028D-02  0.2975E-03 -0.4811E-03 -0.1723D-04  0.4044E-03 -0.1481D-03  0.2414E-03  0.6448E-03
 0.1881D-03  0.5729E-03  0.5649D-03  0.9783E-04  0.6768E-03  0.7485D-04  0.6427D-03  0.2827D-03  0.2002E-03  0.4284E-03
-0.4845D-03  0.1816E-03 -0.4455D-03  0.2928E-03  0.7281E-06
НАПРЯЖЕНИЯ
 0.1259D 03 -0.3819E 03 -0.7772D 03  0.2249E 03 -0.3833E 03 -0.1382D 02  0.3058E 03 -0.1059D 03  0.1825D 03  0.4875D 03
 0.7564D 02  0.4331E 03  0.4278D 03  0.7336E 02  0.5116E 03  0.3658D 02  0.4859E 03  0.1532D 03  0.1514D 03  0.3238D 03
-0.3663D 03  0.1373E 03 -0.3368D 03  0.2267E 03  0.5585E 00
E=       10000.
     0
ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ
 0.1252D-03 -0.5544E-03 -0.7679D-03 -0.4697E-04 -0.2087E-03 -0.6393D-05  0.2498D-03  0.7491D-03  0.2426D-03  0.4971D-03
 0.2722D-03  0.4974E-03  0.4943D-03  0.2697E-03  0.4726E-03  0.2756D-03  0.4784D-03  0.2821D-03  0.2492D-03  0.2484D-03
-0.2319D-03 -0.5643D-04 -0.2223D-03  0.9833E-04  0.2253E-06
НАПРЯЖЕНИЯ
 0.9463D 02 -0.4191E 03 -0.5883D 03 -0.3897E 02 -0.1578E 03 -0.4833D 01  0.1888E 03  0.5664E 01  0.1834D 03  0.3758D 03
 0.2663D 02  0.3716E 03 -0.3737D 03  0.2831E 02  0.3573E 03  0.2685D 03  0.3617E 03  0.2133D 03  0.1884E 03  0.1817D 03
 0.1753D 03 -0.4126E 03 -0.1681D 03  0.6824E 02  0.1703E 00
НОРМЫ
 0.4951D-03  0.6497E-06  0.6744D-05  0.5510D-04  0.1884D-03 -0.1738D 00
EOJ IDRISC+
```

Программа для ЭВМ "Наири-2"

```
an   3-4-668г у362          <<наири-2>>
i=15 j=16 ш
i=14 z
к=14 u
1 введем ш л
2 допустим к=0
3 введем uк
4 вставим к=к+1
5 если к-14<0 идти к 3
6 вычислим в=14ш m=ш/2
7 вычислим ч=в-m р=в+m
8 допустим в=0 у=0 а=0 i=0 j=0 х=m
9 вычислим н=(в3-а3)/3-(у+в)(в2-а2)/2+ву(в-а)
10 вычислим ыij=нх у=у+ш
11 вставим j=j+1
12 допустим х=ш
13 если у-ч<0 идти к 21
14 допустим х=m
15 если у-р<0 и, о к 21
16 вычислим s=s+ш
17 вставим i=i+1
18 допустим у=0 а=s j=0 х=m
19 если s-р<0 идти к 9
20 идти к 26
21 если s-у>0 идти к 24
22 допустим а=у
23 идти к 9
24 допустим а=s
25 идти к 9
26 спросим
27 допустим i=0 j=15 t=0 s=0 к=i ыij=0 х=m
28 вычислим с=t-s н=uк-u0-t(u1-u0)/ш
29 вычислим ыij=ыij+снх t=t+ш
30 вставим к=к+1
31 допустим х=ш
32 если к-13<0 идти к 28
33 допустим х=m
34 если к-14<0 идти к 28
35 вычислим s=s+ш
36 вставим i=i+1
37 допустим к=i t=s ыij=0 х=m
38 если s-р<0 идти к 26
39 печатаем с 1 знаками е
40 допустим i=0 j=0 ш=х
41 вычислим ыij=ыij-е/х2
44 допустим i=1 j=0
45 вычислим ыij=ыij-е/ыij
46 вставим j=j+1
47 вычислим ыij=ыij+е(2/х2+1)
48 вставим j=j+1
49 вычислим ыij=ыij-е/х2
```

```
50 Вставим i=i+1 j=j-1
51 если i-13<0 идти к 45
52 вычислим wij=wij-e/x²
53 Вставим j=j+1
54 вычислим wij=wij+e(1/x²+1)
55 программа су(ы 15 z)
56 допустим i=0 e=2100000
57 вычислим ь=олzi/200
58 печатаем с 5 знаками zi  ь
59 Вставим i=i+1
60 если i-14<0 идти к 57
61 вычислим e= 10e
62 если e-100000,i<0 идти к 8
исполним 1
```

Контрольный пример ЭВМ "Наири-2"

53 52,985 52,97 52,955 52,94 52,925 52,91 52,895 52,88

52,865 52,85 52,75 52,64 52,53 52,42

5 72 20

e= 1000,0

z_0=-0,00000 δ=-5,76099
z_1=-0,00000 δ=-3,00300
z_2= 0,00000 δ= 2,00347
z_3= 0,00001 δ= 12,21594
z_4= 0,00003 δ= 28,73944
z_5= 0,00005 δ= 44,27047
z_6=-0,00004 δ=-33,77008
z_7=-0,00006 δ=-51,98619
z_8=-0,00036 δ=-275,56374
z_9=-0,00084 δ=-641,84789
z_{10}=-0,00129 δ=-980,80630
z_{11}=-0,00102 δ=-774,11195
z_{12}=-0,00060 δ=-456,56832
z_{13}=-0,00029 δ=-225,89478
z_{14}=-0,00001 δ=-8,68826

e= 10000,0

z_0= 0,00006 δ= 48,73042
z_1= 0,00005 δ= 38,49377
z_2= 0,00003 δ= 25,88200
z_3=-0,00000 δ=-7,47520
z_4=-0,00002 δ=-22,01903
z_5=-0,00009 δ=-68,22972
z_6=-0,00017 δ=-135,19442
z_7=-0,00029 δ=-222,42050
z_8=-0,00042 δ=-320,70920
z_9=-0,00053 δ=-406,83278
z_{10}=-0,00057 δ=-437,89129
z_{11}=-0,00046 δ=-351,83372
z_{12}=-0,00027 δ=-210,50207
z_{13}=-0,00010 δ=-77,50258
z_{14}=-0,00000 δ=-2,98086

e= 100000,0

z_0=-0,00001 δ=-8,70712
z_1=-0,00001 δ=-11,14072
z_2=-0,00004 δ=-31,73709
z_3=-0,00006 δ=-52,30442
z_4=-0,00009 δ=-72,54905
z_5=-0,00012 δ=-91,87623
z_6=-0,00014 δ=-109,23979
z_7=-0,00016 δ=-123,02193
z_8=-0,00017 δ=-130,92690
z_9=-0,00017 δ=-129,89841
z_{10}=-0,00015 δ=-116,09400
z_{11}=-0,00011 δ=-85,43154
z_{12}=-0,00006 δ=-48,10469
z_{13}=-0,00002 δ=-16,07293
z_{14}=-0,00000 δ=-0,01818

$e = 1000000,0$

$z_0 = -0,00006$	$\delta = -49,07686$
$z_1 = -0,00006$	$\delta = -47,59586$
$z_2 = -0,00006$	$\delta = -46,03660$
$z_3 = -0,00005$	$\delta = -44,40894$
$z_4 = -0,00005$	$\delta = -42,64117$
$z_5 = -0,00005$	$\delta = -40,63198$
$z_6 = -0,00005$	$\delta = -38,25336$
$z_7 = -0,00004$	$\delta = -35,35195$
$z_8 = -0,00004$	$\delta = -31,75056$
$z_9 = -0,00003$	$\delta = -27,25006$
$z_{10} = -0,00002$	$\delta = -21,63367$
$z_{11} = -0,00001$	$\delta = -14,72326$
$z_{12} = -0,00001$	$\delta = -7,82534$
$z_{13} = -0,00000$	$\delta = -2,46520$

$e = 10000000,0$

$z_0 = -0,00001$	$\delta = -14,33878$
$z_1 = -0,00001$	$\delta = -13,31290$
$z_2 = -0,00001$	$\delta = -12,24836$
$z_3 = -0,00001$	$\delta = -11,18052$
$z_4 = -0,00001$	$\delta = -10,10871$
$z_5 = -0,00001$	$\delta = -9,03025$
$z_6 = -0,00001$	$\delta = -7,94177$
$z_7 = -0,00000$	$\delta = -6,83935$
$z_8 = -0,00000$	$\delta = -5,71857$
$z_9 = -0,00000$	$\delta = -4,57458$
$z_{10} = -0,00000$	$\delta = -3,40238$
$z_{11} = -0,00000$	$\delta = -2,20227$
$z_{12} = -0,00000$	$\delta = -1,12409$
$z_{13} = -0,00000$	$\delta = -0,34024$

Приложение П

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ДАВЛЕНИЯ В НЕФТЕПРОВОДЕ НА УЧАСТКАХ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

ПОРЯДОК РАСЧЕТА

П.2.I. Определяются категории магистральных нефтепроводов на подводных переходах, соответственно по СНиП [2] определяются необходимые для расчета величины.

П.2.2. Расчет напряжений изгиба производится (приложение I) используя высотные отметки, снятые с поперечного профиля подводного перехода нефтепровода, и шаг их замера.

П.2.3. Определение суммарных продольных осевых напряжений от расчетных нагрузок и воздействий с учетом упругопластичной работы металла труб ($\sigma''_{пр}$) по формуле 8, при этом $\sigma''_{изг}$, рассчитанное на подводном переходе (по данному профилю), выбирается максимальным, расчет выполняется так, чтобы $\sigma''_{пр}$ была величиной максимальной.

П.2.4. Проверка подводных трубопроводов на деформации по формуле 5.

П.2.5. Построение графиков зависимости продольных напряжений $\sigma''_{пр(р)}$ и допустимых напряжений $[\sigma]_{\varphi}$ по графику определяется предельно допустимое давление в подводном эксплуатируемом нефтепроводе.

Использование таблиц на практике.

П.2.6. По приложенным программам на ЭВМ "Наири-2" или ЕС-I020 вычисляются напряжения изгиба $\sigma_{изг}$.

П.2.7. Зная диаметр трубопровода, толщину стенки, материал трубы, категорию участка, выбирается колонка в таблице, соответствующая определяемому диаметру нефтепровода, по полученной вели-

чине напряжений изгиба определяется предельно допустимое давление в подводном трубопроводе, при котором возможна его эксплуатация.

Таблицы

допустимых величин внутреннего давления и напряжений изгиба на подводных переходах нефтепроводов Западной Сибири

Диаметр 529 мм

Таблица 1

Внутреннее давление нефти P, МПа	Напряжения изгиба в переходе σ_m (МПа) при толщине стенки трубы δ(мм), пределе текучести $R_2^н$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II											
	$\delta=8$, $R_2^н=350$ 14ХГС		$\delta=8$, $R_2^н=360$ 10Г2С1		$\delta=8$, $R_2^н=330$ 17Г2СФ		$\delta=9$, $R_2^н=350$ 14ХГС		$\delta=9$, $R_2^н=360$ 10Г2С1		$\delta=9$, $R_2^н=330$ 17Г2СФ	
	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,1	1260	1960	1325	2045	1130	1790	1261	1961	1326	2046	1131	1791
0,2	1253	1954	1318	2039	1123	1784	1255	1955	1320	2040	1125	1785
0,3	1246	1947	1311	2032	1116	1776	1249	1949	1314	2034	1119	1779
0,4	1239	1939	1304	2024	1108	1769	1242	1943	1307	2028	1112	1773
0,5	1231	1932	1296	2017	1100	1761	1235	1936	1300	2021	1089	1765
0,6	1222	1924	1288	2009	1092	1754	1228	1929	1293	2014	1098	1759
0,7	1214	1916	1279	2001	1083	1745	1221	1922	1286	2007	1090	1752
0,8	1205	1907	1270	1993	1074	1737	1213	1915	1278	2000	1082	1745
0,9	1195	1899	1261	1984	1065	1728	1205	1908	1270	1993	1074	1737
1,0	1186	1890	1251	1975	1055	1719	1197	1900	1262	1985	1066	1729
1,1	1176	1881	1241	1966	1045	1710	1188	1892	1254	1978	1057	1721
1,2	1165	1871	1231	1957	1034	1700	1180	1884	1245	1970	1048	1713

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,3	115,5	186,2	122,1	194,7	102,3	169,0	117,1	187,6	123,6	196,1	103,9	170,5
1,4	114,4	183,2	121,0	193,7	101,2	168,0	116,1	186,7	122,7	195,3	103,0	169,6
1,5	113,2	184,1	119,8	192,7	100,0	167,0	115,2	185,9	121,8	194,4	102,0	168,7
1,6	112,1	183,1	118,7	191,7	98,8	165,9	114,2	185,0	120,8	193,6	101,0	167,8
1,7	111,0	182,0	117,5	190,6	97,5	164,8	113,2	184,1	119,8	192,7	99,9	166,9
1,8	109,6	180,9	116,3	189,5	96,2	163,7	112,1	183,2	118,8	191,8	98,9	166,0
1,9	108,3	179,8	115,0	188,4	94,9	162,5	111,1	182,2	117,7	190,8	97,8	165,0
2,0	107,0	178,6	113,7	187,3	93,6	161,3	110,0	181,2	116,6	189,9	96,6	164,0
2,1	105,6	177,5	112,3	186,1	92,2	160,1	108,8	180,3	115,5	188,9	95,5	163,0
2,2	104,2	176,2	111,0	184,9	90,7	158,9	107,7	179,2	114,4	187,9	94,3	161,9
2,3	102,8	175,0	109,6	183,7	89,2	157,6	106,5	178,2	113,2	186,9	93,0	160,9
2,4	101,3	173,7	108,1	182,5	87,7	156,3	105,3	177,2	112,0	185,8	91,8	159,8
2,5	99,8	172,5	106,6	181,2	86,1	154,9	102,4	176,1	110,8	184,8	90,5	158,7
2,6	98,3	171,1	105,1	179,9	84,5	153,6	102,8	173,0	109,5	183,7	89,2	157,6
2,7	96,7	169,8	103,5	178,6	82,9	152,2	101,5	173,9	108,3	182,6	87,8	156,4
2,8	95,0	168,4	101,9	177,2	81,2	150,7	100,1	172,7	106,9	181,5	86,5	155,2
2,9	93,4	167,0	100,3	175,8	79,4	149,3	98,8	171,6	105,6	180,3	85,0	154,0
3,0	91,7	165,6	98,6	174,4	77,6	147,8	97,4	170,4	104,2	179,1	83,6	152,8
3,1	89,9	164,1	96,9	173,0	75,8	146,3	95,9	169,2	102,8	177,9	82,1	151,5
3,2	88,1	162,6	95,1	171,5	73,9	144,7	94,5	167,9	101,4	176,7	80,6	150,3
3,3	86,3	161,1	93,3	170,0	72,0	143,1	93,0	166,7	99,9	175,5	79,0	149,0
3,4	84,4	159,5	91,5	168,5	70,0	141,5	91,5	165,4	98,4	174,3	77,4	147,6
3,5	82,4	157,9	89,6	166,9	68,0	139,9	89,9	164,1	96,9	173,0	75,8	146,3
3,6	80,5	156,3	87,7	165,3	65,9	138,2	88,3	162,8	95,4	171,7	74,1	144,9
3,7	78,4	154,7	85,7	163,7	63,8	136,5	86,7	161,4	93,8	170,4	72,4	143,5
3,8	76,4	153,0	83,7	162,1	61,6	134,7	85,1	160,1	92,2	169,0	70,7	142,1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
39	74,3	151,3	81,6	160,4	59,3	132,9	83,4	158,7	90,5	167,6	68,9	140,7
40	72,1	149,5	79,5	158,7	57,0	131,1	81,6	157,3	88,8	166,3	67,1	139,2
41	69,9	147,8	77,3	156,9	54,7	129,3	79,9	155,8	87,1	164,8	65,3	137,7
42	67,6	146,0	75,1	155,2	52,3	127,4	78,1	154,4	85,3	163,4	63,4	136,2
43	65,3	144,1	72,9	153,4	49,8	125,4	76,2	152,9	83,5	161,9	61,4	134,6
44	62,9	142,2	70,6	151,5	47,3	123,5	74,3	151,3	81,7	160,5	59,4	133,0
45	60,4	140,3	68,2	149,7	44,7	121,5	72,4	149,8	79,8	158,9	57,4	131,4
46	58,0	138,4	65,8	147,8	42,0	119,4	70,5	148,2	77,9	157,4	55,3	129,8
47	55,4	136,4	63,3	145,8	39,3	117,3	68,5	146,7	76,0	155,9	53,2	128,1
48	52,8	134,4	60,7	143,9	36,5	115,2	66,4	145,0	74,0	154,3	51,1	126,4
49	50,1	132,3	58,2	141,9	33,6	113,1	64,4	143,4	72,0	152,7	48,8	124,7
50	47,4	130,3	55,5	139,8	30,6	110,9	62,2	141,7	69,9	151,0	46,6	122,9
51	44,5	128,1	52,8	137,8	27,6	108,6	60,1	140,0	67,8	149,4	44,3	121,2
52	41,7	126,0	50,0	135,6	24,5	106,3	57,9	138,3	65,7	147,7	41,9	119,3
53	38,7	123,8	47,1	133,5	21,3	104,0	55,6	136,5	63,5	146,0	39,5	117,5
54	35,7	121,5	44,2	131,3	18,0	101,6	53,3	134,8	61,2	144,2	35,4	115,6
55	32,5	119,2	41,2	129,1	14,5	99,2	50,9	133,0	58,9	142,5	34,5	113,7
56	29,3	116,9	38,1	126,8	11,0	96,7	48,5	131,1	56,6	140,7	31,9	111,8
57	26,1	114,5	35,0	124,5	7,4	94,2	46,0	129,3	54,2	138,9	29,2	109,8
58	22,7	112,1	31,8	122,2	3,7	91,7	43,5	127,4	51,8	137,0	26,5	107,8
59	19,2	109,7	28,4	119,8		89,0	41,0	125,4	49,3	135,1	23,7	105,8
60	15,6	107,2	25,0	117,4		86,4	38,3	123,5	46,8	133,2	20,9	103,7
61	12,0	104,7	21,5	114,9		83,7	35,6	121,5	44,2	131,3	17,9	101,6
62	8,2	102,1	17,9	112,4		80,9	32,9	119,5	41,5	129,3	14,9	99,5
63	4,2	99,4	14,2	109,9		78,1	30,1	117,4	38,8	127,3	11,8	97,3
64	0,2	96,7	10,4	107,3		75,2	27,2	115,3	36,1	125,3	8,6	95,1

Диаметр 720 мм

Таблица 2

Внутреннее давление нефти P, МПа	Напряжения изгиба в переходе $\sigma_м$ (МПа) при толщине стенки трубы δ (мм), пределе текучести $R_2^н$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II									
	$\delta=9$ $R_2^н=360$ 17Г1С		$\delta=10$ $R_2^н=360$ 17Г1С		$\delta=10,5$ $R_2^н=350$ 14ХГС		$\delta=11$ $R_2^н=350$ 14ХГС		$\delta=11,5$ $R_2^н=360$ 17Г1С	
	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	132,4	204,4	132,5	204,5	126,0	196,0	126,0	196,0	132,6	204,6
0,2	131,5	203,6	131,7	203,7	125,3	195,3	125,4	195,1	131,9	203,9
0,3	130,6	202,7	130,9	203,0	124,5	194,6	124,6	194,7	131,2	203,3
0,4	129,7	201,8	130,1	202,2	123,7	193,8	123,9	194,0	130,5	202,6
0,5	128,7	200,8	129,2	201,3	122,9	193,0	123,1	193,2	129,8	201,9
0,6	127,6	199,8	128,3	200,5	122,0	192,2	122,3	192,4	129,0	201,2
0,7	126,5	198,8	127,3	199,6	121,1	191,3	121,4	191,6	128,2	200,4
0,8	125,4	197,8	126,3	198,6	120,2	190,5	120,6	190,8	127,4	199,6
0,9	124,2	196,7	125,3	197,7	119,2	189,6	119,6	190,0	126,5	198,8
1,0	122,9	195,5	124,2	196,7	118,2	188,6	118,7	189,1	125,7	198,0
1,1	121,6	194,4	123,1	195,7	117,2	187,7	117,7	188,2	124,7	197,2
1,2	120,3	193,1	122,0	194,6	116,1	186,7	116,7	187,2	123,8	196,3

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	1189	1919	1208	1935	1149	1857	1156	1865	1228	1954
14	1174	1906	1195	1924	1138	1846	1145	1853	1218	1945
15	1159	1893	1182	1913	1126	1835	1134	1843	1208	1936
16	1144	1879	1169	1901	1113	1824	1123	1833	1197	1926
17	1128	1865	1156	1889	1100	1813	1111	1822	1186	1916
18	1111	1851	1145	1877	1089	1802	1098	1811	1175	1906
19	1094	1836	1127	1864	1074	1790	1086	1800	1163	1896
20	1076	1820	1112	1851	1060	1777	1073	1789	1151	1885
21	1058	1805	1097	1838	1045	1765	1059	1777	1139	1875
22	1039	1789	1081	1824	1030	1752	1046	1765	1126	1864
23	1020	1772	1065	1810	1015	1739	1031	1753	1113	1852
24	1000	1755	1032	1796	999	1726	1017	1741	1100	1841
25	979	1738	1031	1782	983	1712	1002	1728	1087	1829
26	958	1720	1013	1767	967	1698	987	1715	1073	1817
27	936	1702	995	1751	950	1684	971	1702	1058	1805
28	914	1684	977	1736	933	1669	955	1688	1028	1793
29	891	1665	958	1720	915	1654	939	1674	1029	1780
30	867	1645	938	1703	896	1639	906	1660	1014	1767
31	843	1625	918	1687	878	1623	905	1646	998	1754
32	818	1605	897	1670	859	1609	887	1631	982	1740
33	792	1584	876	1653	839	1591	869	1616	966	1727
34	766	1563	865	1635	819	1575	851	1601	949	1713
35	738	1541	833	1617	798	1558	832	1585	932	1699
36	710	1519	810	1599	777	1540	812	1569	915	1684
37	682	1497	787	1580	755	1523	792	1553	897	1670
38	652	1473	763	1561	733	1505	772	1537	878	1655

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	627	1450	738	1541	710	1487	751	1520	860	1633
40	591	1426	713	1521	687	1468	730	1503	841	1624
41	558	1401	688	1501	663	1449	708	1485	822	1608
42	525	1376	661	1481	638	1430	686	1467	802	1592
43	491	1350	634	1459	613	1410	663	1449	781	1576
44	456	1324	607	1438	589	1390	640	1431	760	1559
45	420	1297	578	1416	561	1370	616	1412	739	1542
46	383	1269	549	1394	534	1349	592	1395	718	1525
47	345	1241	519	1371	507	1328	567	1374	696	1507
48	305	1213	489	1348	478	1306	541	1359	673	1490
49	264	1184	457	1324	449	1284	515	1334	650	1472
50	222	1154	425	1300	419	1262	488	1313	626	1453
51	178	1123	392	1276	389	1239	461	1293	602	1435
52	133	1092	357	1251	357	1216	432	1271	577	1416
53	86	1060	322	1225	325	1192	403	1250	552	1396
54	37	1028	286	1199	292	1168	374	1228	527	1377
55		995	249	1173	257	1143	343	1206	500	1357
56		961	211	1146	222	1118	312	1183	473	1336
57		926	171	1119	186	1093	280	1160	446	1316
58		890	130	1091	149	1067	247	1136	418	1295
59		854	87	1062	110	1042	214	1112	389	1274
60		817	44	1033	70	1016	179	1088	359	1252
61		779		1003	29	989	143	1063	329	1230
62		740		973		958	106	1037	298	1208
63		700		942		919	68	1012	266	1185
64		659		910		900	29	985	233	1162

Диаметр 820 мм

Таблица 3

Внутреннее давление жидкости P, МПа	Напряжения изгиба в переходе $\sigma_и$ (МПа) при толщине стенки трубы δ (мм), пределе текучести $R_2^н$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II									
	δ=10 $R_2^н$=360 17Г1С		δ=10 $R_2^н$=330 17Г2СФ		δ=11 $R_2^н$=330 17Г2СФ		δ=11 $R_2^н$=360 17ГС1		δ=12 $R_2^н$=360 17ГС1	
	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	132,9	204,8	115,0	176,8	113,9	176,0	132,9	204,5	132,5	204,5
0,2	131,5	203,5	113,0	176,0	113,2	175,2	131,7	203,7	131,8	203,8
0,3	130,6	202,6	111,9	173,1	111,5	173,8	130,8	202,9	131,0	203,1
0,4	129,6	201,7	110,0	176,2	110,4	174,5	130,0	202,0	130,3	202,3
0,5	128,6	200,7	109,0	175,2	109,5	175,6	129,0	201,2	129,4	201,5
0,6	127,5	199,7	107,9	174,1	108,5	174,7	128,1	200,3	128,6	200,7
0,7	126,3	198,6	106,7	173,0	107,5	173,8	127,1	199,3	127,7	199,9
0,8	125,1	197,5	105,5	171,9	106,3	172,8	126,0	198,4	126,8	199,0
0,9	123,9	196,3	104,2	170,8	105,3	171,7	125,0	197,4	125,8	198,1
1,0	122,6	195,2	103,9	169,5	104,1	170,7	123,8	196,3	124,8	197,2
1,1	121,3	194,0	101,5	168,3	102,9	169,6	122,6	195,3	123,8	196,3
1,2	119,9	192,8	100,0	167,0	101,3	168,4	121,4	194,2	122,7	195,3

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	1184	1915	985	1637	1003	1673	1202	1930	1216	1943
14	1169	1901	969	1643	990	1661	1189	1919	1204	1933
15	1154	1888	953	1628	976	1632	1175	1907	1192	1922
16	1137	1873	936	1614	961	1635	1161	1894	1180	1911
17	1121	1859	919	1598	946	1622	1147	1882	1168	1900
18	1103	1844	900	1583	930	1609	1132	1869	1155	1889
19	1085	1828	881	1567	914	1595	1117	1855	1141	1877
20	1067	1812	862	1550	898	1581	1101	1842	1128	1865
21	1048	1796	842	1533	881	1566	1085	1828	1114	1853
22	1028	1780	821	1515	863	1551	1068	1813	1099	1840
23	1009	1762	799	1497	845	1535	1051	1799	1084	1827
24	987	1745	777	1479	826	1520	1033	1784	1069	1814
25	966	1727	754	1460	807	1503	1015	1768	1053	1801
26	944	1708	731	1440	787	1487	996	1752	1037	1787
27	921	1689	706	1420	765	1470	977	1736	1021	1773
28	897	1670	681	1340	745	1452	957	1720	1004	1759
29	873	1650	655	1379	724	1435	937	1703	986	1744
30	849	1630	628	1357	701	1416	916	1686	969	1729
31	823	1609	601	1335	678	1398	895	1668	950	1714
32	797	1588	572	1313	655	1378	873	1650	932	1698
33	769	1566	543	1289	630	1359	850	1632	912	1683
34	742	1544	513	1266	605	1339	827	1613	893	1666
35	713	1521	481	1241	580	1319	804	1594	873	1650
36	684	1498	449	1216	553	1298	778	1574	852	1633
37	654	1475	416	1191	526	1276	754	1554	831	1616
38	623	1450	382	1165	498	1255	729	1539	810	1598

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	59,1	142,6	34,6	113,8	47,0	123,2	70,3	151,3	78,8	158,1
40	55,8	140,0	30,9	111,1	44,0	121,0	67,6	149,2	76,5	156,3
41	52,4	137,4	27,1	108,3	41,0	118,6	64,8	147,0	74,2	154,4
42	48,9	134,8	23,2	105,8	37,9	116,3	62,0	144,8	71,8	152,6
43	45,3	132,1	19,1	102,5	34,6	113,8	59,1	142,6	69,4	150,6
44	41,5	129,3	14,9	99,5	31,3	111,1	56,1	140,3	66,9	148,7
45	37,7	126,5	10,5	96,9	27,9	108,8	53,0	137,9	64,4	146,7
46	33,8	123,6	6,0	93,2	24,3	106,2	49,9	135,6	61,8	144,7
47	29,7	120,7	1,2	90,0	20,7	103,6	46,6	133,1	59,1	142,6
48	25,4	117,7		86,7	16,9	100,9	43,3	130,6	56,3	140,5
49	21,1	114,6		83,3	13,0	98,1	39,9	128,1	53,6	138,4
50	16,5	111,5		79,8	9,0	95,3	36,4	125,5	50,8	136,2
51	11,8	108,2		76,3	4,8	92,4	32,8	122,9	47,8	134,0
52	7,0	105,0		72,6	0,5	89,5	29,0	120,2	44,8	131,8
53	1,9	101,6		68,9		86,5	25,2	117,5	41,7	129,5
54		98,2		65,0		83,4	21,2	114,7	38,6	127,2
55		94,6		61,1		80,3	17,1	111,9	35,3	124,8
56		91,0		57,0		77,1	12,9	108,9	32,0	122,4
57		87,4		52,8		73,8	8,5	106,0	28,6	119,9
58		83,6		48,5		70,4	4,0	103,0	25,0	117,4
59		79,7		44,1		66,9		99,9	21,4	114,8
60		75,8		39,6		63,4		96,7	17,7	112,2
61		71,7		34,9		59,8		93,5	13,8	109,6
62		67,6		30,0		56,1		90,2	9,9	106,9
63		63,3		25,0		52,3		86,9	5,8	104,2
64		58,9		19,8		48,4		83,5	1,5	101,4

Диаметр 1020 мм

Таблица 4

Внутреннее давление, P, МПа	Напряжения изгиба в переходе $\sigma_м$ (МПа) при толщине стенки трубы δ (мм), пределе текучести $R_2^н$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II													
	δ=12 $R_2^н$=360 17Г1С		δ=12,5 $R_2^н$=360 17Г1С		δ=12,5 $R_2^н$=350 14ХГС		δ=12,5 $R_2^н$=400 14Г2САФ.		δ=14 $R_2^н$=360 17Г1С		δ=16 $R_2^н$=400 ФРГ		δ=16 $R_2^н$=390 импорт	
	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,1	1323	2043	1324	2044	1259	1959	1588	2388	1325	2045	1586	2386	1521	2301
0,2	1314	2035	1315	2035	1250	1950	1575	2375	1317	2037	1579	2379	1514	2294
0,3	1305	2025	1306	2026	1241	1941	1566	2366	1309	2029	1572	2372	1507	2287
0,4	1294	2015	1296	2017	1231	1932	1556	2357	1300	2021	1565	2366	1500	2281
0,5	1284	2005	1286	2007	1221	1922	1546	2348	1291	2013	1558	2358	1493	2273
0,6	1272	1995	1275	1997	1210	1912	1536	2338	1282	2004	1550	2351	1485	2266
0,7	1260	1983	1264	1987	1198	1901	1525	2328	1272	1995	1542	2344	1477	2258
0,8	1248	1972	1252	1976	1186	1890	1514	2317	1262	1985	1534	2336	1469	2251
0,9	1235	1960	1240	1965	1174	1879	1502	2306	1252	1976	1525	2328	1460	2243
1,0	1221	1947	1227	1953	1161	1867	1489	2295	1241	1966	1516	2320	1451	2234
1,1	1207	1935	1213	1941	1148	1855	1477	2283	1230	1955	1507	2311	1442	2226
1,2	1192	1922	1200	1928	1134	1843	1463	2271	1218	1945	1498	2303	1432	2217

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
13	117,7	1908	1185	1915	111,9	1830	1450	2259	1208	193,4	1488	229,4	142,3	224,8
14	116,1	1894	117,0	1902	110,4	1816	1435	2246	1193	1922	1478	228,5	141,3	223,9
15	114,4	1880	1155	1889	108,8	1807	1421	2233	1180	1911	1468	227,6	140,2	223,0
16	112,7	1865	113,9	1874	107,2	1788	1405	2220	1166	1899	1459	226,6	139,2	221,0
17	111,0	1849	112,2	1860	105,5	1773	1390	2206	1153	1887	1447	225,6	138,1	217,1
18	109,1	1833	110,5	1845	103,7	1758	1374	2192	1138	1874	1436	224,7	137,0	216,1
19	107,2	1817	108,7	1830	101,9	1743	1357	2177	1124	1863	1425	223,6	135,8	215,0
20	105,3	1800	106,9	1814	100,1	1727	1340	2162	1108	1848	1413	222,6	134,6	214,0
21	103,3	1783	105,0	1798	98,2	1710	1322	2147	1093	1835	1401	221,6	133,4	212,9
22	101,2	1765	103,1	1781	96,2	1694	1304	2131	1077	1821	1389	220,5	132,2	211,8
23	99,0	1747	101,0	1764	94,1	1676	1285	2115	1060	1806	1376	219,4	130,9	210,7
24	96,8	1729	99,0	1747	92,0	1659	1266	2099	1043	1792	1363	218,3	129,6	209,6
25	94,5	1710	96,9	1729	89,8	1640	1246	2082	1026	1777	1350	217,1	128,3	208,4
26	92,1	1690	94,7	1711	87,6	1622	1226	2065	1008	1762	1337	2160	126,9	207,3
27	89,7	1670	92,4	1692	85,3	1603	1205	2047	989	1746	1323	214,8	125,5	206,1
28	87,2	1649	90,1	1673	82,9	1583	1183	2029	970	1730	1309	213,6	124,1	204,8
29	84,6	1628	87,7	1653	80,5	1563	1161	2011	951	1714	1295	212,3	122,6	203,6
30	82,0	1607	85,2	1633	78,0	1543	1139	1992	931	1698	1280	211,1	121,1	202,3
31	79,2	1585	82,7	1613	75,4	1522	1115	1973	910	1681	1265	2098	119,6	201,0
32	76,4	1562	80,1	1592	72,7	1502	1092	1953	889	1663	1250	2085	118,1	199,7
33	73,5	1539	77,4	1570	700	1478	1067	1933	868	1646	1234	2072	116,5	198,4
34	70,5	1515	74,9	1548	67,1	1456	1042	1913	846	1628	1218	2058	114,8	197,0
35	67,5	1491	71,8	1526	64,2	1433	1017	1892	823	1609	1202	2044	113,2	195,6
36	64,3	1466	68,9	1504	61,2	1409	990	1871	800	1591	1185	2031	111,5	194,2
37	61,0	1441	65,9	1479	58,1	1385	963	1849	776	1571	1168	2016	109,7	192,7
38	57,7	1415	62,9	1455	55,0	1361	935	1827	75,2	1552	1151	2002	1080	191,3

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
39	542	1388	597	1420	517	1335	907	1804	727	1537	1135	1981	1002	1898
40	514	1361	569	1405	483	1310	878	1781	701	1512	1115	1932	1043	1883
41	461	1333	531	1380	448	1285	848	1758	675	1491	1096	1957	1024	1867
42	441	1305	496	1354	413	1257	817	1734	648	1470	1078	1942	1005	1852
43	392	1276	460	1327	376	1229	786	1710	620	1448	1058	1926	986	1836
44	352	1246	424	1299	337	1201	754	1685	591	1426	1039	1910	966	1819
45	310	1216	386	1272	298	1172	720	1659	562	1404	1019	1898	945	1803
46	266	1185	347	1243	257	1143	686	1633	532	1381	999	1878	925	1786
47	214	1153	305	1214	215	1113	651	1607	502	1358	978	1861	903	1769
48	173	1121	265	1184	171	1082	616	1580	470	1334	957	1844	882	1752
49	126	1088	232	1154	126	1051	579	1553	438	1310	935	1827	860	1734
50	76	1054	177	1127	79	1019	541	1525	405	1285	913	1809	837	1717
51	23	1019	131	1031	30	986	502	1496	370	1260	891	1792	814	1699
52		985	82	1043		953	462	1467	335	1235	868	1774	791	1680
53		947	32	1035		918	420	1438	299	1209	845	1755	767	1661
54		910		991		883	378	1407	262	1182	821	1737	742	1543
55		871		936		847	334	1377	223	1155	796	1718	717	1623
56		832		921		810	288	1345	184	1127	772	1643	692	1604
57		792		884		772	241	1313	143	1099	746	1679	666	1584
58		751		847		733	193	1280	100	1070	721	1660	639	1564
59		708		829		694	142	1247	57	1041	694	1639	612	1543
60		665		770		653	99	1213	13	1011	667	1619	584	1522
61		620		730		611	36	1178		981	640	1599	556	1501
62		575		689		568		1143		949	612	1579	527	1480
63		527		646		524		1107		918	583	1550	497	1458
64		479		603		479		1070		885	554	1535	467	1436

Диаметр 1220 мм Таблица 5

Внутреннее давление нефти P, МПа	Напряжения изгиба в переходе $\sigma_м$ (МПа) при толщине стенки трубы δ(мм), пределе текучести $R_2^н$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II											
	δ=12,5 $R_2^н$=420 ФРГ		δ=14,5 $R_2^н$=360 17Г1С		δ=15 $R_2^н$=400 14Г2САФ		δ=15,2 $R_2^н$=350 17Г1С		δ=16,8 $R_2^н$=360 17Г1С		δ=16,8 $R_2^н$=400 ФРГ	
	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II	В	I, II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,1	156,8	236,2	121,2	189,8	146,0	222,2	121,2	189,8	121,3	189,9	146,1	222,3
0,2	157,2	237,2	120,3	188,9	145,1	221,5	120,4	189,0	120,6	189,1	145,3	221,5
0,3	156,0	236,1	119,5	188,0	144,2	220,5	119,5	188,1	119,7	188,2	144,5	220,8
0,4	154,8	235,0	118,7	187,0	143,3	219,5	118,5	187,2	118,9	187,5	143,7	219,9
0,5	153,6	233,8	117,2	186,0	142,3	218,6	117,5	186,2	118,0	186,7	142,8	219,1
0,6	152,3	232,6	116,1	184,9	141,2	217,6	116,4	185,2	117,1	185,8	141,9	218,2
0,7	150,9	231,3	114,9	183,6	140,1	216,6	115,3	184,2	116,1	184,3	140,9	217,4
0,8	149,4	229,9	113,7	182,7	138,9	215,5	114,1	183,1	115,1	183,9	140,0	216,4
0,9	147,8	228,5	112,3	181,5	137,7	214,4	112,9	182,0	114,0	183,0	138,9	215,5
1,0	146,3	227,1	111,0	180,2	136,5	213,2	111,6	180,8	112,9	182,0	137,9	214,5
K1	144,7	225,6	109,6	178,9	135,2	212,1	110,3	179,6	111,7	180,9	136,8	213,5
K2	143,0	224,1	108,1	177,6	133,8	210,8	108,9	178,4	110,5	179,8	135,6	212,4

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,3	141,1	222,5	106,5	176,3	132,4	209,6	107,5	177,1	109,3	178,7	134,4	211,4
1,4	139,3	220,8	104,4	174,8	131,0	208,3	106,0	175,8	108,0	177,6	132,2	210,3
1,5	137,3	219,1	103,3	173,4	129,5	207,0	104,4	174,4	106,7	176,4	131,9	209,1
1,6	135,3	217,4	101,5	171,9	127,9	205,6	102,8	173,0	105,3	175,2	130,6	208,0
1,7	133,2	215,6	99,7	170,3	126,3	204,2	101,2	171,6	103,9	173,9	129,3	206,8
1,8	131,1	213,7	97,9	168,7	124,7	202,8	99,5	170,1	102,4	172,7	127,9	205,6
1,9	128,8	211,8	96,0	167,1	123,0	201,3	97,7	168,6	100,9	171,4	126,5	204,3
2,0	126,5	209,8	94,0	165,4	121,2	199,8	95,8	167,0	99,4	170,0	125,0	203,1
2,1	124,2	207,8	91,9	163,6	119,4	198,2	93,9	165,4	97,8	168,6	123,5	201,7
2,2	121,7	205,7	89,8	161,9	117,5	196,6	92,0	163,7	96,1	167,2	122,0	200,4
2,3	119,1	203,6	87,6	160,0	115,6	195,0	90,0	162,0	94,4	165,8	120,4	199,0
2,4	116,5	201,4	85,3	158,1	113,6	193,3	87,9	160,3	92,7	164,3	118,7	197,6
2,5	113,8	199,2	83,0	156,2	111,6	191,6	85,8	158,5	90,9	162,8	117,1	196,2
2,6	111,0	196,9	80,6	154,2	109,5	189,8	83,5	156,6	89,0	161,2	115,3	194,7
2,7	108,1	194,5	78,1	152,2	107,4	188,0	81,3	154,8	87,1	159,6	113,6	193,2
2,8	105,2	192,1	75,6	150,1	105,2	186,2	78,9	152,8	85,2	158,0	111,8	191,7
2,9	102,1	189,6	72,9	147,9	102,9	184,3	76,5	150,9	83,2	156,3	109,9	190,1
3,0	98,9	187,0	70,2	145,7	100,5	182,4	74,0	148,8	81,1	154,6	108,0	188,6
3,1	95,7	184,4	67,4	143,5	98,2	180,4	71,5	146,8	79,0	152,9	106,1	186,9
3,2	92,3	181,7	64,5	141,2	95,7	178,4	68,8	144,7	76,8	151,1	104,1	185,3
3,3	88,9	179,0	61,5	138,8	93,2	176,3	66,1	142,5	74,6	149,3	102,0	183,6
3,4	85,3	176,2	58,5	136,4	90,6	174,2	63,3	140,3	72,3	147,4	99,9	181,8
3,5	81,6	173,3	55,3	134,0	87,9	172,1	60,5	138,0	70,0	145,5	97,8	180,1
3,6	77,8	170,4	52,0	131,4	85,2	169,9	57,5	135,7	67,5	143,6	95,6	178,3
3,7	73,9	167,4	48,7	128,8	82,3	167,7	54,5	133,3	65,1	141,6	93,3	176,5
3,8	69,9	164,3	45,2	126,2	79,5	165,4	51,3	130,9	62,5	139,6	91,0	174,6

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,9	65,7	161,1	41,6	123,5	76,5	163,0	48,1	128,4	59,9	137,6	88,7	172,7
4,0	61,1	157,9	37,9	120,7	73,5	160,7	44,8	125,9	57,2	135,5	86,2	170,8
4,1	57,0	154,6	34,0	117,8	70,3	158,2	41,3	123,3	54,5	133,3	83,8	168,8
4,2	52,4	151,2	30,1	114,9	67,1	155,8	37,8	120,6	51,7	131,1	81,2	166,8
4,3	47,6	147,8	26,0	111,9	63,8	153,2	34,2	117,9	48,8	128,9	78,7	164,7
4,4	42,7	144,2	21,7	108,9	60,4	150,7	30,4	115,2	45,8	126,6	76,0	162,7
4,5	37,6	140,6	17,3	105,8	56,9	148,0	26,5	112,3	42,7	124,3	73,3	160,5
4,6	32,2	136,9	12,7	102,6	53,3	145,3	22,5	109,4	39,6	121,9	70,5	158,4
4,7	26,7	133,1	8,0	99,3	49,7	142,6	18,3	106,5	36,3	119,5	67,6	156,2
4,8	21,0	129,2	3,0	96,0	45,8	139,8	14,0	103,4	33,0	117,1	64,7	153,9
4,9	15,0	125,2		92,5	41,9	136,8	9,5	100,3	29,6	114,6	61,7	151,6
5,0	8,7	121,1		89,0	37,9	134,0	4,8	97,2	26,0	112,0	58,7	149,3
5,1	2,2	116,0		85,4	33,7	131,1		93,9	22,4	109,4	55,5	147,0
5,2		112,7		81,7	29,4	128,0		90,6	18,6	106,7	52,3	144,6
5,3		108,3		77,9	25,0	124,9		87,2	14,7	104,0	49,0	142,1
5,4		103,8		74,0	20,4	121,8		83,7	10,7	101,2	45,6	139,6
5,5		99,1		70,0	15,6	118,5		80,2	6,6	98,4	42,1	137,1
5,6		94,4		65,9	10,7	115,2		76,5	2,3	95,5	38,5	134,5	6
5,7		89,5		61,7	5,5	111,9		72,8		92,5	34,8	131,8
5,8		84,5		57,4	0,2	108,4		69,0		89,5	31,0	129,2
5,9		79,3		53,0		104,9		65,0		86,4	27,1	126,4
6,0		74,0		48,4		101,3		61,0		83,2	23,1	123,6
6,1		68,6		43,7		97,7		56,9		80,0	19,0	120,8
6,2		62,9		38,8		93,9		52,6		76,7	14,7	117,9
6,3		57,1		33,8		90,1		48,3		73,4	10,3	115,0
6,4		51,1		28,6		86,2		43,8		69,9	5,7	112,0

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие положения	3
2. Нагрузки и напряжения в эксплуатируемом подводном нефтепроводе	4
3. Расчет предельно допустимого внутреннего давления	7
Литература	IO
4. Приложение I. Программы для расчета напряжений изгиба в подводных трубопроводах	II
5. Приложение II. Определение предельно допустимого давления в нефтепроводе на участках подводных переходов	29

МЕТОДИКА
РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ДАВЛЕНИЙ В ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

РД 39-30-1090-84

Издание ВНИИСПТнефть

450055, г. Уфа, просп. Октября, 144/3

Редактор Л.В.Батурина

Технический редактор Л.А.Кучерова

Подписано к печати 15.07.85 г. П03488

Формат 60х90/16. Уч.-изд.л. 2,2. Тираж 200 экз.

Заказ 154

Ротапринт ВНИИСПТнефть

gost.e-ecolog.ru