

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ВНИИСПТнефть

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИКА  
РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ  
ДАВЛЕНИЙ В ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ  
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ  
РД 39 - 30 - 1090 - 84

1985

Министерство нефтяной промышленности  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО СБОРУ,  
ПОДГОТОВКЕ И ТРАНСПОРТУ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ  
(ВНИИСПНефть)

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 ВНИСИНефть: 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., Пиннигина Л.Г., Яблонский В.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.

#### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Согласно РД 39-30-117-78 "Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов" /1/ все участки нефтепроводов, в том числе подводных переходов, должны соответствовать проектному положению, плотно опираться на основание при любом реально возможном режиме эксплуатации.

1.2. Основой расчета предельно допустимых давлений в эксплуатируемых подводных нефтепроводах является исполнение СНиП П-45-75 /2/.

1.3. С целью обеспечения надежности работы подводных переходов через реки необходимо вести контроль за деформацией русловых процессов и относительным положением трубопровода /1/.

1.4. 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 разрыхленных и провисших участков подводных нефтепроводов.

1.6. Для участков подводных нефтепроводов, занимающих проектное положение, по ряду факторов, имеющих перенапряженное состояние, а также для разрыхленных 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 определять 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 1,2,3,4,5 температурный перепад принят равным  $\Delta t = + 40^{\circ}\text{C}$ .

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

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{\alpha \cdot P \cdot D_{\text{в}}}{2\delta} \text{, МПа} \quad (1)$$

$\alpha$  - коэффициент перегрузки рабочего давления (нормативного) табл. 12 /2/ ;

$P$  - рабочее (нормативное) давление, МПа ;

$D_{\text{в}}$  - внутренний диаметр, м ;

$\delta$  - номинальная толщина стенки трубы, м.

2.4. Нормативное сопротивление  $R_{\text{с}}^{\text{н}}$  растяжения (сжатия) металла труб и сварных соединений следует принимать равным минимальному значению предела текучести  $\sigma_{\text{т}}$  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 :

$$\sigma_{\text{пр}} = \alpha \Delta t E + \mu \sigma_{\text{к}} \text{, МПа} \quad (2)$$

$\alpha$  - коэффициент линейного расширения металла труб ;

$E$  - модуль упругости материала трубы,  $2,1 \times 10^5$  МПа ;  
 $\mu$  - коэффициент поперечной деформации, 0,3.

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

$$\sigma_{изг} = \frac{E D_1}{2\rho}, \text{ МПа} \quad (3)$$

или

$$\sigma_{изг} = \frac{E D_1}{2} \psi''(x), \text{ МПа} \quad (4)$$

$D_1$  - наружный диаметр подводного трубопровода, м ;

$\rho$  - проектный радиус упругого изгиба, м ;

$\psi''$  - 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 разрыв 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  $\psi''$  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  $10 D_1$ .

Программы для расчета  $\psi''$ ,  $\sigma_{изг}$  на ЭЕМ 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 1,2,3,4,5 такое дополнительное напряжение не учитывается, так как на подводных переходах УМНЗ и СЭС 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

3.1. Согласно "Правилам технической эксплуатации магистральных нефтепроводов" /1/ 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:

$$\sigma_{\Sigma}'' / (\rho) \leq \psi \frac{C}{K_n} R_2'' \equiv [\sigma](\rho), \quad (5)$$

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



$\sigma_{\text{нн}}^{\text{н}}$  - кольцевые напряжения от нормативного давления, МПа ;  
 $C$  - коэффициент, зависящий от категории участка трубопровода  
 /2/ ;

$K_{\text{н}}$  - коэффициент надежности ;

$\psi_3$  - коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние  
 металла труб, равен

$$\psi_3 = \sqrt{1 - 0,75 \left( \frac{K_{\text{н}} \sigma_{\text{нн}}^{\text{н}}}{2R_2} \right)^2} - 0,5 \frac{K_{\text{н}} \sigma_{\text{нн}}^{\text{н}}}{CR_2} \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{нн}}^{\text{н}} = \frac{PD_0}{2\delta} \quad (7)$$

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

$$\sigma_{\text{пр}}^{\text{н}} = \sigma_{\text{т}}^{\text{н}} + \mu \sigma_{\text{нн}}^{\text{н}} \pm \sigma_{\text{инт}}^{\text{н}}, \text{ МПа} \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{пр}}^{\text{н}} = -\alpha \Delta t E + \mu \sigma_{\text{нн}}^{\text{н}} - \sigma_{\text{инт}}^{\text{макс}} \quad (9)$$

$R_2^{\text{н}}$  - нормативное сопротивление металла трубопровода, МПа.

3.3. Для определения предельно допустимого внутреннего давлени-  
 я удобно строить графики зависимости продольных напряжений  
 $\sigma_{\text{пр}}^{\text{н}}(p)$  и допустимых напряжений  $[\sigma](p)$  от внутреннего давления,

находясь области, в которых удовлетворяется условие деформации  
 $\sigma_{\text{пр}}^{\text{н}} < [\sigma], \sigma_{\text{инт}}^{\text{н}} > [\sigma]$ . Точка разграничения этих областей  
 дает максимальное внутреннее давление при эксплуатации участков  
 подводного перехода, соответствует предельно допустимому внутрен-  
 нему давлению при данном профиле.

На рис. 1 построены указанные графики и найдено предельно  
 допустимое давление, равное 2,8 МПа.

Для практического пользования выполнены расчетные таблицы  
 1, 2, 3, 4, 5 для всех диаметров нефтепроводов с различными прочност-

ными характеристиками сталей.

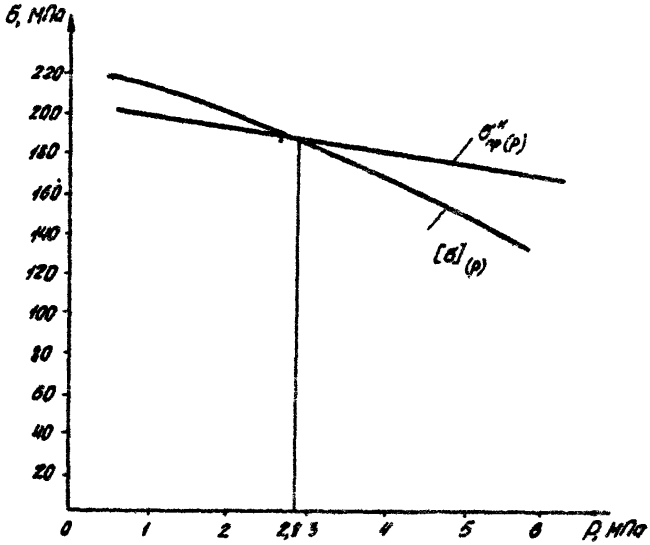


Рис. 1. Определение предельно допустимого внутреннего давления на подводном переходе р. Демьянка (II китка) и/п Нижневартовск-Курган-Куйбышев.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. (РД 39-30-117-78)-М.: Недра, 1979.

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

3. Методика расчета на прочность участков газопроводов по замерам высотного положения осн. Ташев. Ташевскийгаз, 1977.

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

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

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

ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ ИЗГИБА  
В ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

П.1.1. Назначение программ

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

$$\sigma_{изг}(x_i) = \frac{E D^3 U''}{2} (x_i), \quad (1.1.)$$

$E$  - модуль упругости материала трубы;

$D$  - наружный диаметр трубы.

Как известно, задача определения вторых производных функций  $U=U(X)$  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 регуляризирующим параметром  $\alpha$ .

Алгоритм реализован для ЭВМ ЕС-1020 на языке фортран IV, для ЭВМ "Напри-2" на языке АП. Ниже приводится описание регуляризирующего алгоритма и программы.

П.1.2. 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  $\alpha$  связан с точностью исходной информации. Согласно регуляризирующему алгоритму [5] функция должна доставлять минимум функционалу.

$$M_\alpha[\varphi, Z] = \int_a^b [A[Z] - \varphi(x)]^2 dx + \int_a^b [\kappa_1(s)Z'(s)]^2 + \kappa_2(s)Z''(s)]^2 ds \quad (1.2)$$

$\alpha, b$  - координаты начала и конца расчетного участка, в котором

$$A[Z] = \int_a^b \kappa(x, s)Z(s) ds - \varphi(x) \quad (1.3)$$

- интегральное уравнение Фредгольма первого рода.

$$\varphi(x) = y(x) - y(a) - y'(a)(x-a) \quad (1.4)$$

$$\sum_{j=1}^n \kappa(x_i, s_j) Z_j / h - \tilde{\varphi}(x_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.5)$$

$y'(a)$  - начальный угол поворота;

$\tilde{\varphi}(x_i)$  - измеряемые вертикальные ординаты;

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

$\kappa$  - прерывистое ядро.

$$\kappa(x, s) = \begin{cases} x-s & \alpha < s < x \\ 0 & x < s \leq b \end{cases} \quad (1.6)$$

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 (1.2) в виде:

$$\int_a^b \kappa(s, t)Z(t) dt + \alpha [\kappa_1 Z'(s) - \kappa_2 Z''(s)] - B(s), \quad (1.7)$$

где  $B(s) = \int_a^b (x-s) [y(x) - y(a) - y'(a)(x-a)] dx. \quad (1.8)$

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

$$Z'(a) = Z'(b) = 0, \quad (1.9)$$

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:

$$h \sum_{j=1}^n \bar{\kappa}_{ij} Z_j - \frac{\alpha \kappa_1}{h^2} [Z_{i-1} + (2 + \frac{\kappa_2}{\kappa_1} h^2) Z_i + Z_{i+1}] = \bar{z}_i, \quad (1.10)$$

где

$$\bar{\kappa}_{ij} = h^3 \begin{cases} \sum_{k=j}^n (\kappa - i)(\kappa - j) & 1 \leq i < j \\ \sum_{k=i}^n (\kappa - i)(\kappa - j) & j < i \leq n \end{cases} \quad (1.11)$$

$$\bar{z}_i = h^2 \sum_{k=1}^n (\kappa - i) (\tilde{y}_k - \tilde{y}_0 - \kappa h \tilde{y}'_0) \quad (1.12)$$

Входящий в  $\bar{z}_i$  угол поворота левого конца  $\tilde{y}'_0$  следует определять непосредственно по разности соседних ординат левого конца. Следует принимать решение уравнения (1.2), удовлетворяющее условиям (1.9), при этом варьируется параметр регуляризации  $\alpha$ , что существенно влияет на роль сглаживающего члена уравнения. Параметр регуляризации будем варьировать согласно рекомендациям

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

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

$$\|Z_{\alpha_{m+1}} - Z_{\alpha_m}\| = \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [Z_{\alpha_{m+1}}(x_i) - Z_{\alpha_m}(x_i)]^2 \right\}^{1/2} \quad (1.13)$$

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.1.3. Описание программы для ЭВМ ЕС-1020

#### П.1.3.1. Ввод исходной информации

Перечень вводной информации дан в таблице П.1.1. Ограничения на размеры массивов следующие  $n \leq 50$ . Число разных значений параметра регуляризации  $\alpha \leq 50$ .

Пакет исходных данных формируется следующим образом:

- первая карта содержит одно число:

1) 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 -  $E1$

- далее идут одна или несколько карт, содержащие ординаты точек наблюдений  $\{y_i\} - U(I)$

Таблица П.1.1.

Название реквизита	Обозначение в программе	Форматный код ввода	Замечания
1	2	3	4

1. Число измерений высотного положения верхней образующей трубопровода

$N$       1      2

I	2	3	4
2. Диаметр трубы	$D$	F 6.1	
3. Длина по оси X исследуемого участка трубопровода	B	F 6.2	
4. Шаг измерений по оси X	F	F 6.2	
5. Начальное значение параметра регуляризации	E	E 5,0	
6. Конечное значение параметра регуляризации	E I	E 5,0	
7. Массив ординат точек наблюдений $Y(X_i)$	$U$	26F3.1	Данный форматный код необходимо менять, если данные не соответствуют этому формату

### П.1.3.2. Печать результатов

Перечень выводной информации дан в таблице П.1.2

Таблица П.1.2

Наименование реквизита	Обозначение в программе	Выводной формат	Примечания
I	2	3	4
1. Печатаются входные данные	-	-	
2. Значение параметра регуляризации $\alpha$	E	F12,0	
3. Параметр, характеризующий правильность решения системы линейных уравнений	I ER	I5	если $IER=0$ , то система ре-



1	2	3	4
			цена верно $IER > 0$ возмож- на потеря точ- ности
4. Массив значений второй производной в точках $X_i$	R	IO] I2,4	
5. Массив напряжений изгиба в точках $X_i$	E <sub>r</sub>	IO E12,4	
6. Массив значений норм для	FC		печатается после послед- него шага до α

#### П.1.3.3. 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.1.3.4. Контрольный пример

Для контрольного примера взяты следующие данные:

- 1) 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  $E=10^0$

6) конечное значение параметра регуляризации  $\epsilon = 10^6$

- ординаты точек наблюдения следующие  $H(I)$  : 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 .

П.1.4. Описание программы для ЭВМ "Напри-2"

П.1.4.1. Описание алгоритма

Эта программа отличается от программы для ЕС ЭВМ только тем, что может обрабатывать ровно 15 наблюдений. Если на обрабатываемом участке более 14-ти точек измерения высотного положения верхней образующей трубопровода, то необходимо разбить участок на части, содержащие по 15 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.

П.1.4.2. Ввод исходных данных *CONSUL*.

В данной программе осуществляется бесформатный ввод данных. Он выполняется в следующей последовательности:

1. Вначале вводятся 2 значения

Расстояние между замерами -  $m$

Диаметр трубы -  $D$ , см

2. Затем вводятся 15 значений высотного положения трубы

$H_k, k = 0, 1 \dots 14$

3. Затем 4 раз вводится значение регуляризующего параметра  $\epsilon$ .

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

П.1.4.3. Печать результатов

В данной программе на печать выдаются значения второй производной  $U_2$

PD-2222

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

#### П.1.4.4. Контрольный пример

Для контрольного примера взяты следующие данные:

$$h = 5 \text{ м}$$

$$D = 0,72 \text{ м}$$

- ординаты точек наблюдения следующие: 53,0 52,985 52,97  
52,955 52,94 52,925 52,91 52,885 52,98 52,865 52,85  
52,75 52,64 52,53 52,42.

#### П.1.5. Аналитический расчет напряжений изгиба

Напряжение изгиба при отсутствии ЭВМ вычисляются по формулам:

$$\sigma_{из}(x_i) = \frac{EDy''}{2}(x_i), \quad (I.14)$$

$$y'' = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2}, \quad (I.15)$$

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 IDRISON
// OPTION LINK
// ACTION MONAP
// ASSGN SYSRLB.X'193'
// DLBL IJSYRL,99/365
// EXTENT SYSRLB.LIBRF4.1.1.10.1000
// EXEC FFORTRAN
```

DOS/FS FORTAN IV V.M 2.0

OPTIONS IN EFFECT

-----

LOAD \*0

DECK NO

LIST YES

LISTX NO  
DOS/FS FORTAN IV V.M 2.0

MAINPGM

DATE 30/01/85

```
0001 DOUBLE PRECISION R(50),V(250),W(2500)
0002 COMMON D,B,F,M,E,E1
0003 M=0.71E+7
0004 READ(1,201)N,D,B,F,E,E1
0005 201 FORMAT(I2/I4.2/2E5.0)
0006 WRITE(3,202)N,D,B,F,M,E,E1
0007 202 FORMAT(1X,'N=',I2,2X,'D=',F7.2,2X,
1'B=',F7.1,2X,'F=',F6.2,2X),'M=',E12.3/
23X,'E1=',E10.1,2X,'E12=',E10.1//)
0008 NC=N+1
0009 CALL REGUL(N,ND,R,W,M)
0010 STOP
0011 END
```

DOS/FS FORTAN IV V.M 2.0

MAINPGM

DATE 30/01/85

```
0001 SUBROUTINE REGUL(N,ND,R,W,M)
0002 DOUBLE PRECISION R(N),W(N,ND),M(N,ND),
0003 U(50),G(50),R2(50),FC(50)
0004 COMMON D,B,F,M,E,E1
0005 REAL M
0006 READ(1,211)U(1),I(1),N)
0007 211 FORMAT(I2/I4.2/I3.1/I)
0008 WRITE(3,217)U(1),I(1),N)
0009 217 FORMAT(1X,20F6.1)
0010 S=0
0011 Y=0
0012 A=0
0013 X=F/2
0014 J=1
0015 Z=1
0016 4 M=(B**3-A**3)/3-(Y+S)*(B**2-A**2)/2
0017 S=Y+(B-A)
0018 W(J,J)=M*X
0019 Y=Y+C
0020 J=J+1
```

```

0020      X=F
0021      IF(Y-(B-0.01))2,1,1
0022      1 X=F/2
0023      IF(Y-(B+0.01))2,2,3
0024      3 S=S+F
0025      I=I+1
0026      Y=0
0027      A=S
0028      J=1
0029      X=F/2
0030      IF(S-(B+0.01))4,23,23
0031      2 IF((S-Y).LT.0.01)GOTO 21
0032      10 A=S
0033      GOTO 4
0034      21 A=Y
0035      GOTO 4
0036      23 I=1
0037      J=N+1
0038      T=0
0039      S=0
0040      K=J
0041      W(I,J)=0
0042      X=F/2
0043      24 C=T-S
0044      M=U(X)-U(I)-T*(U(2)-U(1))/F
0045      W(I,J)=W(I,J)+C*M*X
0046      N=N+1
0047      T=T+F
0048      Y=F
0049      IF(X-(N-1))24,24,30
0050      30 X=F/2
0051      IF(X-N)24,24,32
0052      32 S=S+F
0053      I=I+1
0054      K=I
0055      Y=S
0056      W(I,J)=0
0057      X=F/2
0058      IF(S-(B+0.01))24,35,35
0059      35 DO 170 I=1,N
0060      170 S(I)=0.0
0061
0062      DO 98 I=1,N
0063      98 DO 98 J=1,N1
0064      98 W(I,J)=W(I,J)
0065      WRITE(3,12)E
0066      10 FORMAT(1X,'E=',F12.0)
0067      X=F
0068      I=1
0069      J=1
0070      W(I,J)=W(I,J)+E*(1/X**2)
0071      J=J+1
0072      W(I,J)=W(I,J)-E/X**2
0073      N2=N-1
0074      DO 100 I=2,N2
0075      W(I,1)=1+W(I,I-1)-E/X**2
0076      W(I,1)=W(I,1)+E*(2/X**2)
0077      100 W(I,1)=W(I,1)-E/X**2
0078      W(I,N)=1+W(I,N-1)-E/X**2
0079      W(I,N)=W(I,N)+E*(1/X**2)

```

0057-5 PCRTAN

IV 7.8

REGUL

DATE 30/01/88

```

0080      DO 102 I=1,N
0081      102 R(I)=W1(I),N1
           .NN=1
0082      EPS=0.01E-10
0083      CALL DCELG(R,W1,N,NN,EPS,IER)
0084      WRITE(3,111)IER
0085      111 FORMAT(IX,5I5)
0086      WRITE(3,105)(R(I),I=1,N)
0087      105 FORMAT(IX,'STOPME PPOH3BOAHWE'/(10D12.4))
0088      DO 110 I=1,N
0089      110 C(I)=N1*Q/2*R(I)
           WRITE(3,65)(C(I),I=1,N)
0091      65 FORMAT(IX,'HAPPAPEHHA'/(10E12.4))
0092      N22=N-2
0093      FC(J)=0
0094      DO 152 I=3,N22
0095      152 R2(I)=R(I)
           FC(J)=FC(J)+R(I)*R2(I)*Q
0096      FC(J)=FC(J)+R(I)*R2(I)*Q
0097      FC(J)=FC(J)/I-4)
0098      FC(J)=SQRT(FC(J))
0099      J=J+1
0100      I=I+1
0101      IF I=2)96,96,104
0102      96 WRITE(3,103)(FC(I),I=1,J)
0103      103 FORMAT(IX,'HOPHM'/(10E12.4))
0104      401 RETURN
0105      END
0106

```

D03743 RCRTAN IV V.N 2.0

REGUL

DATE 30/01/83

## Контрольный пример для ЭВМ ЕС-1020

// EXEC LHMEDT

// EXEC

NUMS Da 0.72 0# 400.0 F= 20.00 NID 0.21000E 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 6.3 7.5 8.4 9.0

E# 1.

E#

ВТОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

0.1370D-03 -0.4690D-03 -0.1114D-02 0.4014C-03 -0.4690C-03 -0.7224D-05 0.4375D-03 -0.1750D-03 0.2410D-03 0.6030C-03  
 0.5357D-04 0.5927D-03 0.5090D-03 0.3632C-04 0.7546C-03 -0.2436D-05 0.7024D-03 0.1777D-03 0.1703D-03 0.4961C-03  
 0.3791D-03 0.2004D-03 -0.5378D-03 0.3703C-03 0.9233C-06

НАПРЯЖЕНИЯ

0.1107D 03 -0.3551D 03 -0.0425D 03 0.3035C 03 -0.3546C 03 -0.5461D 01 0.3307D 03 -0.1323D 03 0.1022D 03 0.5164D 03  
 0.4050D 02 0.4400D 03 0.4453D 03 0.2746C 02 0.5705C 03 -0.1042D 01 0.5310D 03 0.1343D 03 0.1350C 03 0.3751D 03  
 0.4378D 03 0.2121C 03 -0.4066D 03 0.2799C 03 0.6900C 00

E# 10.

E#

ВТОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

0.1375D-03 -0.4702D-03 -0.1114D-02 0.4003D-03 -0.4683C-03 -0.7370D-05 0.4371D-03 -0.1747D-03 0.2410D-03 0.6027D-03  
 0.5405D-04 0.5925D-03 0.5007D-03 0.3699D-04 0.7538C-03 -0.1576D-05 0.7010D-03 0.1779D-03 0.1700D-03 0.4954D-03  
 0.3780D-03 0.2795D-03 -0.5369D-03 0.3690C-03 0.9211C-06

НАПРЯЖЕНИЯ

0.1107D 03 -0.3555D 03 -0.0410D 03 0.3026C 03 -0.3540C 03 -0.5572D 01 0.3305D 03 -0.1321D 03 0.1022D 03 0.5161D 03  
 0.4050D 02 0.4479D 03 0.4451D 03 0.2707C 02 0.5090C 03 -0.1191D 01 0.5305D 03 0.1345D 03 0.1352D 03 0.3745D 03  
 0.4378D 03 0.2113C 03 -0.4056D 03 0.2792C 03 0.6904C 00

E# 100.

E#

ВТОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

0.1584D-03 -0.4742D-03 -0.1100D-02 0.3093C-03 -0.4609C-03 -0.0755D-05 0.4341D-03 -0.1713D-03 0.2411D-03 0.6709D-03  
 0.5673D-04 0.5605D-03 0.5061D-03 0.4356C-04 0.7453C-03 0.6032D-05 0.6953D-03 0.1006D-03 0.1012D-03 0.4000D-03  
 0.3677D-03 0.2605D-03 -0.5263D-03 0.3666C-03 0.0996C-06

НАПРЯЖЕНИЯ

0.1190D 03 -0.3505C 03 -0.0340D 03 0.2943C 03 -0.3485C 03 -0.6619D 01 0.3202C 03 -0.1295D 03 0.1022D 03 0.5132D 03  
 0.4440D 02 0.4464C 03 0.4431D 03 0.2793C 02 0.5034C 03 0.5165D 01 0.5257D 03 0.1365D 03 0.1370C 03 0.3609D 03  
 0.4292D 03 0.2030C 03 -0.3979D 03 0.2727C 03 0.6001C 00

E# 1000.

E#

ВТОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

0.1665D-03 -0.5051D-03 -0.1020D-02 0.2975C-03 -0.4011C-03 -0.1723D-04 0.4044C-03 -0.1401D-03 0.2414C-03 0.6448C-03  
 0.1001D-03 0.5729C-03 0.5649D-03 0.9703C-04 0.6760C-03 0.7405D-04 0.6427D-03 0.2027D-03 0.2002C-03 0.4204C-03  
 0.4045D-03 0.1010C-03 -0.4455D-03 0.2920C-03 0.7201C-06

НАПРЯЖЕНИЯ

0.1254D 03 -0.3019C 03 -0.7772D 03 0.2245C 03 -0.3033C 03 -0.1302D 02 0.3050C 03 -0.1009D 03 0.1025D 03 0.4075D 03  
 0.7064D 02 0.4331C 03 0.4270D 03 0.7330C 02 0.5110C 03 0.5650D 02 0.4059C 03 0.1532D 03 0.1514D 03 0.3230D 03  
 0.3063D 03 0.1373D 03 -0.3360D 03 0.2267C 03 0.5505C 00

E# 10000.

E#

ВТОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

0.1257D-03 -0.5544C-03 -0.7679D-03 -0.4057C-04 -0.2007C-03 -0.6393D-05 0.2490C-03 0.7491D-05 0.2426D-03 0.4971D-03  
 0.2727D-03 0.4674C-03 0.4943D-03 0.2657C-03 0.4726C-03 0.2756D-03 0.4784C-03 0.2021D-03 0.2492D-03 0.2004D-03  
 0.2310D-03 -0.5643D-04 -0.2223D-03 0.9033C-04 0.2253C-06

НАПРЯЖЕНИЯ

0.9463D 02 -0.4191D 03 -0.5003D 03 -0.3057C 02 -0.1570C 03 -0.4033D 01 0.1000C 03 0.5664C 01 0.1034D 03 0.3700D 03  
 0.7663D 03 -0.3700C 03 -0.3700C 03 0.3700C 03 0.3700C 03 0.2405D 03 0.3617C 03 0.2133D 03 0.1004C 03 0.1017D 03  
 0.7663D 03 -0.3700C 03 -0.3700C 03 0.3700C 03 0.3700C 03

МЕРЫ

0.4051D-03 0.6497C-06 0.6744D-05 0.5510D-04 0.1000D-03 -0.1730D 00

EQJ IDRTSCV

## Программа для ЭВМ "Наирн-2"

```

an 3-4-668Г УД62 <<наирн-2>>
1-15 3-16 м
1-14 z
k-14 u
1 где: ом ш л
2 допустим k=0
3 введем ux
4 вставим k=k+1
5 если k-14<0 идти к 3
6 вычислим b=14m πш/2
7 вычислим v=b-m p=b+m
8 допустим b=0 y=0 a=0 i=0 j=0 x=m
y вычислим m=(b3-a3)/y-(y+a)(b2-a2)/2+ay(b-a)
10 вычислим wj=j-mx y=y+w
11 вставим j=j+1
12 доп считм x=m
13 если y-v<0 идти к 21
14 допустим x=m
15 если y-p<0 u, v к 21
16 вычислим b=b+w
17 вставим i=i+1
18 допустим y=0 a=b j=0 x=m
19 если b-p<0 идти к y
20 идти к 26
21 если b-y>0 идти к 24
22 допустим a=y
23 идти к y
24 допустим a=b
25 идти к 5
26 спросим
27 допустим i=0 j=15 t=0 s=0 k=1 wj=0 x=m
28 вычислим o=t-s m=m-uq-1(u1-u0)/m
29 вычислим wj=wj+om, t=t+w
30 введем k=k+1
31 допустим x=m
32 если k-1>40 идти к 28
33 допустим x=m
34 если k-14<0 идти к 28
35 вычислим b=b+w
36 вставим i=i+1
37 допустим k=i та wj=0 x=m
38 если b-d<0 идти к 26
39 печатаем с 1 знаком e
40 допустим i=0 j=0 ш=x
41 вычислим w1=w1-e/x²
44 допустим i=1 j=0
45 вычислим wj=wj-e/wj3
46 вставим j=j+1
47 вычислим wj=wj+e(2/x²+1)
48 вставим j=j+1
49 вычислим w1 =wj+e, x²

```



```

50 Вставим  $i=i+1$   $j=j-1$ 
51 если  $i-13 < 0$  идти к 45
52 вычислим  $w_j = w_{j-1} - a/x^2$ 
53 Вставим  $j=j+1$ 
54 вычислим  $w_i = w_{i+1} + (1/x^2 + 1)$ 
55 программа су(ы 15 з)
56 допустим  $i=0$   $a=2100000$ 
57 вычислим  $w=0.21/200$ 
58 печатаем с 5 знаками  $x_1$ 
59 Вставим  $i=i+1$ 
60 если  $i-14 < 0$  идти к 57
61 вычислим  $a=10a$ 
62 если  $a-100000 < 1 < 0$  идти к 8
исполним 1

```

## Контрольный пример ЭВМ "Наира-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<sub>0</sub>=-0,00000z<sub>1</sub>=-0,00000z<sub>2</sub>= 0,00000z<sub>3</sub>= 0,00001z<sub>4</sub>= 0,00003z<sub>5</sub>= 0,00005z<sub>6</sub>=-0,00004z<sub>7</sub>=-0,00006z<sub>8</sub>=-0,00036z<sub>9</sub>=-0,00084z<sub>10</sub>=-0,00129z<sub>11</sub>=-0,00102z<sub>12</sub>=-0,00060z<sub>13</sub>=-0,00029z<sub>14</sub>=-0,00001

e= 10000,0

z<sub>0</sub>= 0,00006z<sub>1</sub>= 0,00005z<sub>2</sub>= 0,00003z<sub>3</sub>=-0,00000z<sub>4</sub>=-0,00002z<sub>5</sub>=-0,00009z<sub>6</sub>=-0,00017z<sub>7</sub>=-0,00029z<sub>8</sub>=-0,00042z<sub>9</sub>=-0,00053z<sub>10</sub>=-0,00057z<sub>11</sub>=-0,00046z<sub>12</sub>=-0,00027z<sub>13</sub>=-0,00010z<sub>14</sub>=-0,00000

e= 100000,0

z<sub>0</sub>=-0,00001z<sub>1</sub>=-0,00001z<sub>2</sub>=-0,00004z<sub>3</sub>=-0,00008z<sub>4</sub>=-0,00009z<sub>5</sub>=-0,00012z<sub>6</sub>=-0,00014z<sub>7</sub>=-0,00016z<sub>8</sub>=-0,00017z<sub>9</sub>=-0,00017z<sub>10</sub>=-0,00015z<sub>11</sub>=-0,00011z<sub>12</sub>=-0,00008z<sub>13</sub>=-0,00002z<sub>14</sub>=-0,00000

δ=-5,76099

δ=-3,00300

δ= 2,00347

δ= 12,21594

δ= 28,73944

δ= 44,27047

δ=-33,77008

δ=-51,98619

δ=-273,56374

δ=-641,84789

δ=-980,80630

δ=-774,11925

δ=-456,56832

δ=-225,89478

δ=-8,68826

δ= 48,73042

δ= 36,49377

δ= 25,88200

δ=-1,47520

δ=-22,01903

δ=-68,22972

δ=-135,19442

δ=-222,42090

δ=-320,70920

δ=-406,83278

δ=-437,89129

δ=-351,83372

δ=-210,50207

δ=-77,50258

δ=-2,98086

δ=-8,70712

δ=-11,14072

δ=-31,73709

δ=-52,30442

δ=-72,54905

δ=-91,87623

δ=-109,23979

δ=-123,02193

δ=-130,92690

δ=-129,89841

δ=-116,09400

δ=-85,43154

δ=-48,10469

δ=-16,07293

δ=-0,01818

$e = -1000000,0$	
$z_0 = -0,00006$	$\delta = -49,07686$
$z_1 = -0,00006$	$\delta = -47,59566$
$z_2 = -0,00006$	$\delta = -46,03660$
$z_3 = -0,00003$	$\delta = -44,40894$
$z_4 = -0,00005$	$\delta = -42,64117$
$z_5 = -0,00005$	$\delta = -40,63198$
$z_6 = -0,00005$	$\delta = -38,25336$
$z_7 = -0,00004$	$\delta = -36,35195$
$z_8 = -0,00064$	$\delta = -31,75056$
$z_9 = -0,00003$	$\delta = -27,25006$
$z_{10} = -0,00002$	$\delta = -21,63367$
$z_{11} = -0,00001$	$\delta = -14,72326$
$z_{12} = -0,00001$	$\delta = -7,82534$
$z_{13} = -0,00000$	$\delta = -2,46520$
$e = 10000000,0$	
$z_0 = -0,00001$	$\delta = -14,33878$
$z_1 = -0,00001$	$\delta = -13,51290$
$z_2 = -0,00001$	$\delta = -12,24836$
$z_3 = -0,00001$	$\delta = -11,18052$
$z_4 = -0,00001$	$\delta = -10,10871$
$z_5 = -0,00001$	$\delta = -9,03025$
$z_6 = -0,00001$	$\delta = -7,94177$
$z_7 = -0,00000$	$\delta = -6,83935$
$z_8 = -0,00000$	$\delta = -5,71857$
$z_9 = -0,00000$	$\delta = -4,57458$
$z_{10} = -0,00000$	$\delta = -3,40238$
$z_{11} = -0,00000$	$\delta = -2,20227$
$z_{12} = -0,00000$	$\delta = -1,12409$
$z_{13} = -0,00000$	$\delta = -0,34024$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ДАВЛЕНИЯ В НЕФТЕПРОВОДЕ НА УЧАСТКАХ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

### ПОРЯДОК РАСЧЕТА

П.2.1. 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 упругоэластичной работы металла труб ( $\sigma_{пр}^N$ ) по формуле 8, при этом  $\sigma_{изг}^N$ , рассчитанное на подводном переходе (по данному профилю), выбирается максимальным, расчет выполняется так, чтобы  $\sigma_{пр}^N$  была величиной максимальной.

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

П.2.5. Построение графиков зависимости продольных напряжений  $\sigma_{пр}^N(\rho)$  и допустимых напряжений  $[\sigma]_{ф}$  по графику определяется предельно допустимое давление в подводном эксплуатируемом нефтепроводе.

Использование таблиц на практике.

П.2.6. По приложенным программам на ЭВМ "Напри-2" или ЕС-1020 вычисляются напряжения изгиба  $\sigma_{изг}^N$ .

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

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

## Таблицы

допустимых величин внутреннего давления и напряжений изгиба на  
подобных переходах нестепроводов Западной Сибири  
Диаметр 529 мм

Таблица 1

Внутрен- нее дав- ление испыт $P$ , МПа	Напряжения изгиба в переходе $B_m$ (МПа) при толщине стенки трубы $\delta$ (мм), пределе текучести $R_2^m$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II											
	$\delta=8, R_2^m=350$ АХГС		$\delta=8, R_2^m=360$ ЮГРС1		$\delta=8, R_2^m=330$ 17Г2СФ		$\delta=9, R_2^m=350$ АХГС		$\delta=9, R_2^m=360$ ЮГРС1		$\delta=9, R_2^m=330$ 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	126.1	196.1	132.6	204.6	113.1	179.1
0.2	1253	1954	1318	2039	1123	1784	125.5	195.5	132.0	204.0	112.5	178.5
0.3	1246	1947	1311	2032	1116	1776	124.9	194.9	131.4	203.4	111.9	177.9
0.4	1239	1939	1304	2024	1108	1769	124.2	194.2	130.7	202.7	111.2	177.2
0.5	1231	1932	1296	2017	1100	1761	123.5	193.5	130.0	202.1	108.9	176.5
0.6	1222	1924	1288	2009	1092	1754	122.8	192.9	129.3	201.4	108.9	176.9
0.7	1214	1916	1279	2001	1083	1745	122.1	192.2	128.6	200.7	108.0	175.2
0.8	1205	1907	1270	1993	1074	1737	121.3	191.5	127.8	200.0	108.2	174.5
0.9	1195	1899	1261	1984	1065	1728	120.5	190.8	127.0	199.3	107.4	173.7
1.0	1186	1890	1251	1975	1055	1719	119.7	190.0	126.2	198.5	106.6	172.9
1.1	1176	1881	1241	1966	1045	1710	118.8	189.2	125.4	197.8	105.7	172.1
1.2	1165	1871	1231	1957	1034	1700	118.0	188.4	124.5	197.0	104.8	171.3

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	115,5	186,2	122,1	194,7	102,3	163,0	117,1	187,6	123,6	196,1	103,9	170,5
14	114,4	183,2	121,0	193,7	101,2	168,0	116,1	186,7	122,7	195,3	103,0	169,6
15	113,2	184,1	119,8	192,7	100,0	167,0	115,2	185,9	121,8	194,4	102,0	168,7
16	112,1	183,1	118,7	191,7	98,8	165,9	114,2	185,0	120,8	193,6	101,0	167,8
17	110,8	182,0	117,5	190,6	97,5	164,8	113,2	184,1	119,8	192,7	99,9	166,9
18	109,6	180,9	116,3	189,5	96,2	163,7	112,1	183,2	118,8	191,8	98,9	156,0
19	108,3	179,8	115,0	188,4	94,9	162,5	111,1	182,2	117,7	190,8	97,8	165,0
20	107,0	178,6	113,7	187,3	93,6	161,3	110,0	181,2	116,6	189,9	96,6	164,0
21	105,6	177,5	112,3	186,1	92,2	160,1	108,8	180,3	115,5	188,9	95,5	163,0
22	104,2	176,2	111,0	184,9	90,7	158,9	107,7	179,2	114,4	187,9	94,3	161,9
23	102,8	175,0	109,6	183,7	89,2	157,6	106,5	178,2	113,2	186,9	93,0	160,9
24	101,3	173,7	108,1	182,5	87,7	156,3	105,3	177,2	112,0	185,8	91,8	159,8
25	99,8	172,5	106,6	181,2	86,1	154,9	102,9	176,1	110,8	184,8	90,5	158,7
26	98,3	171,1	105,1	179,9	84,5	153,6	102,8	175,0	109,5	183,7	89,2	157,6
27	96,7	169,8	103,5	178,6	82,9	152,2	101,5	173,9	108,3	182,6	87,8	156,4
28	95,0	168,4	101,9	177,2	81,2	150,7	100,1	172,7	106,9	181,5	86,5	155,2
29	93,4	167,0	100,3	175,8	79,4	149,3	98,8	171,6	105,6	180,3	85,0	154,0
30	91,7	165,6	98,6	174,4	77,6	147,8	97,4	170,4	104,2	179,1	83,6	152,8
31	89,9	164,1	96,9	173,0	75,8	146,3	95,9	169,2	102,8	177,9	82,1	151,5
32	88,1	162,6	95,1	171,5	73,9	144,7	94,5	167,9	101,4	176,7	80,6	150,3
33	86,3	161,1	93,3	170,0	72,0	143,1	93,0	166,7	99,9	175,5	79,0	149,0
34	84,4	159,5	91,5	168,5	70,0	141,5	91,5	165,4	98,4	174,3	77,4	147,6
35	82,4	157,9	89,6	166,9	68,0	139,9	89,9	164,1	96,9	173,0	75,8	146,3
36	80,5	156,3	87,7	165,3	65,9	138,2	88,3	162,8	95,4	171,7	74,1	144,9
37	78,4	154,7	85,7	163,7	63,8	136,5	86,7	161,4	93,8	170,4	72,4	143,5
38	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	743	1513	816	1604	593	1329	834	1587	905	1676	689	1407
40	721	1405	795	1587	570	1311	816	1573	888	1663	671	1392
41	699	1478	773	1569	547	1293	799	1558	871	1648	653	1377
42	676	1460	751	1552	523	1274	781	1544	853	1634	634	1362
43	653	1441	729	1534	498	1254	762	1529	835	1619	614	1346
44	629	1422	706	1515	473	1235	743	1513	817	1605	594	1330
45	604	1403	682	1497	447	1215	724	1498	798	1589	574	1314
46	580	1384	658	1478	420	1194	705	1482	779	1574	553	1298
47	554	1364	633	1458	393	1173	685	1467	760	1559	532	1281
48	528	1344	607	1439	365	1152	664	1450	740	1543	511	1264
49	501	1323	582	1419	336	1131	644	1434	720	1527	488	1247
50	474	1303	555	1398	306	1109	622	1417	699	1510	466	1229
51	445	1281	528	1378	276	1086	601	1400	678	1494	443	1212
52	417	1260	500	1356	245	1063	579	1383	657	1477	419	1193
53	387	1238	471	1335	213	1040	556	1365	635	1460	395	1175
54	357	1215	442	1313	180	1016	533	1348	612	1442	354	1156
55	325	1192	412	1291	145	992	509	1330	589	1425	345	1137
56	293	1169	381	1268	110	967	485	1311	566	1407	319	1118
57	261	1145	350	1245	74	942	460	1293	542	1389	292	1099
58	227	1121	318	1222	37	917	435	1274	518	1370	265	1078
59	192	1097	284	1198		890	410	1254	493	1351	237	1058
60	156	1072	250	1174		864	383	1235	468	1332	209	1037
61	120	1047	215	1149		837	356	1215	442	1313	179	1016
62	82	1021	179	1124		809	329	1195	415	1293	149	995
63	42	995	142	1099		781	301	1174	388	1273	118	973
64	07	967	104	1073		752	272	1153	361	1253	86	951



Диаметр 720 мм

Таблица 2

Внутреннее давление $P$ , МПа	Напряжения изгиба в переходе $B_m$ (МПа) при толщине стенки трубы $\delta$ (мм), пределе текучести $R_p^M$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II									
	$\delta=9$ $R_p^M=360$ 17Г1С		$\delta=10$ $R_p^M=360$ 17Г1С		$\delta=10,5$ $R_p^M=350$ 14ХГС		$\delta=11$ $R_p^M=350$ 14ХГС		$\delta=11,5$ $R_p^M=360$ 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	1324	2044	1325	2045	1260	1960	1260	1960	1326	2046
0,2	1315	2036	1317	2037	1253	1953	1254	1957	1319	2039
0,3	1306	2027	1309	2030	1245	1946	1246	1947	1312	2033
0,4	1297	2018	1301	2022	1237	1938	1239	1940	1305	2026
0,5	1287	2008	1292	2013	1229	1930	1231	1932	1298	2019
0,6	1276	1998	1283	2005	1220	1922	1223	1924	1290	2012
0,7	1265	198,8	1273	1996	1211	1913	1214	1916	1282	2004
0,8	1254	197,8	1263	1986	1202	1905	1206	1908	1274	1996
0,9	1242	1967	1253	1977	1192	1896	1196	1900	1265	1988
1,0	1229	1955	1242	1967	1182	1886	1187	1891	1257	1980
1,1	1216	1944	1231	1957	1172	1877	1177	1882	1247	1972
1,2	1203	1931	1220	1946	1161	1867	1167	1872	1238	1963

Продолжение таблицы 2

11	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	1087	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	1704	896	1639	906	1650	1014	1767
31	843	1625	918	1687	878	1623	905	1646	928	1754
32	818	1605	897	1670	859	1607	887	1631	922	1740
33	792	1584	876	1653	839	1591	869	1616	916	1727
34	766	1563	855	1635	819	1575	851	1601	919	1713
35	738	1541	833	1617	798	1558	832	1585	912	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	1639
40	591	1426	713	1521	687	1468	730	1503	841	1624
41	558	1401	688	1501	663	1449	708	1485	821	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	1393	718	1525
47	345	1241	519	1371	507	1328	567	1374	696	1507
48	305	1213	489	1348	478	1306	541	1354	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	502	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	1015	179	1088	359	1252
61		779		1003	29	985	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 $P$ , МПа	Напряжения изгиба в переходе $B_m$ (МПа) при толщине стенки трубы $\delta$ (мм), пределе текучести $R_2^M$ (МПа), марке стали и катеворин участков В, I, II									
	$\delta=10$ $R_2^M=360$ 17Г1С		$\delta=10$ $R_2^M=330$ 17Г2СФ		$\delta=11$ $R_2^M=330$ 17Г2СФ		$\delta=11$ $R_2^M=360$ 17ГС1		$\delta=12$ $R_2^M=360$ 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	1324	2049	1130	1769	1139	1790	1329	2045	1325	2045
0,2	1315	2035	1120	1760	1132	1782	1317	2037	1318	2038
0,3	1306	2026	1110	1751	1115	1774	1308	2029	1310	2031
0,4	1296	2017	1100	1762	1104	1765	1300	2020	1303	2023
0,5	1286	2007	1090	1752	1095	1756	1290	2012	1299	2015
0,6	1275	1997	1079	1744	1085	1747	1281	2003	1286	2007
0,7	1263	1986	1067	1730	1075	1738	1271	1993	1277	1999
0,8	1254	1975	1055	1719	1068	1728	1260	1984	1268	1990
0,9	1239	1969	1042	1708	1053	1717	1250	1974	1258	1981
1,0	1226	1952	1029	1695	1041	1707	1238	1965	1248	1972
1,1	1213	1940	1015	1683	1029	1696	1226	1955	1238	1963
1,2	1179	1928	1000	1670	1017	1684	1214	1942	1227	1953

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	1603	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	1008	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	766	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	728	1534	810	1598

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	591	1426	346	1138	470	1232	703	1515	788	1581
40	558	1400	309	1111	440	1210	676	1492	765	1563
41	524	1374	271	1083	410	1186	648	1470	742	1544
42	489	1348	232	1054	379	1163	620	1448	718	1526
43	453	1321	191	1025	346	1138	591	1426	694	1506
44	415	1293	149	995	313	1114	561	1403	669	1487
45	377	1265	105	969	279	1088	530	1379	644	1467
46	338	1236	60	932	243	1062	499	1356	618	1447
47	297	1207	12	900	207	1036	466	1331	591	1426
48	254	1177		867	169	1009	433	1306	563	1405
49	211	1148		833	130	981	399	1281	536	1384
50	165	1115		798	90	953	364	1255	508	1362
51	118	1082		763	48	924	328	1229	478	1340
52	70	1050		726	05	895	290	1202	448	1318
53	19	1016		689		865	252	1175	417	1295
54		982		650		834	212	1147	386	1272
55		946		611		803	171	1119	353	1248
56		910		570		771	129	1089	320	1224
57		874		528		738	85	1060	286	1199
58		836		485		704	40	1030	250	1174
59		797		441		669		999	214	1148
60		758		396		634		967	177	1122
61		717		349		598		935	138	1096
62		676		300		561		902	99	1069
63		633		250		523		869	58	1042
64		589		198		484		835	15	1014

Диаметр 1020 мм

Таблица 4

Внутреннее давление, Р, МПа	Напряжения изгиба в переходе $\sigma_m$ (МПа) при толщине стенки трубы $\delta$ (мм), пределе текучести $R_2^*$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II													
	$\delta=12 R_2^*=360$ ЛГГК		$\delta=12,5 R_2^*=360$ ЛГГК		$\delta=12,5 R_2^*=350$ ИХГК		$\delta=12,5 R_2^*=400$ ИГГСАФ.		$\delta=14 R_2^*=360$ ЛГГК		$\delta=16 R_2^*=400$ ФРГ		$\delta=16 R_2^*=390$ 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	13,23	204,3	1324	2049	1259	1959	1589	2389	1325	2045	1586	2386	1571	2301
0,2	13,14	2035	1315	2035	1250	1950	1575	2375	1317	2037	1579	2379	1519	2299
0,3	13,05	2025	1306	2029	1241	1941	1566	2366	1309	2029	1572	2372	1507	2287
0,4	12,94	2015	1296	2017	1231	1932	1556	2357	1300	2021	1565	2366	1500	2281
0,5	12,84	2005	1286	2007	1221	1922	1546	2348	1291	2013	1558	2358	1493	2273
0,6	12,72	1995	1275	1997	1210	1912	1536	2338	1282	2004	1550	2351	1485	2266
0,7	12,60	1985	1264	1987	1198	1904	1525	2328	1272	1995	1542	2344	1477	2258
0,8	12,48	1972	1252	1976	1186	1890	1514	2317	1262	1985	1534	2336	1469	2251
0,9	12,35	1960	1240	1965	1174	1879	1502	2306	1252	1976	1525	2328	1460	2243
1,0	12,21	1947	1227	1953	1161	1867	1489	2295	1241	1966	1516	2320	1451	2234
1,1	12,07	1935	1213	1941	1148	1855	1477	2283	1230	1955	1507	2311	1442	2226
1,2	11,92	192,2	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	1177	1908	1185	1915	1169	1830	1450	2259	1800	1934	1480	2294	1423	2248
14	1161	1894	1170	1902	1104	1816	1435	2246	1183	1922	1476	2285	1443	2199
15	1144	1860	1155	1889	1088	1802	1421	2233	1180	1911	1468	2276	1402	2147
16	1127	1865	1139	1874	1072	1788	1405	2220	1166	1899	1459	2266	1392	2100
17	1110	1849	1122	1860	1055	1773	1390	2206	1153	1887	1447	2256	1381	2177
18	1094	1833	1105	1845	1037	1758	1374	2192	1138	1874	1436	2247	1370	2161
19	1072	1817	1087	1830	1019	1743	1357	2177	1124	1863	1425	2236	1358	2150
20	1053	1800	1069	1814	1001	1727	1340	2162	1108	1848	1413	2226	1346	2140
21	1033	1783	1050	1798	982	1710	1322	2147	1093	1835	1401	2216	1334	2129
22	1012	1765	1031	1781	962	1694	1304	2131	1077	1821	1389	2205	1322	2118
23	990	1747	1010	1764	941	1676	1285	2115	1060	1806	1376	2194	1309	2107
24	968	1729	990	1747	920	1659	1266	2099	1043	1792	1363	2183	1296	2096
25	945	1710	969	1729	898	1640	1246	2082	1026	1777	1350	2171	1283	2084
26	921	1690	947	1711	876	1622	1226	2065	1008	1762	1337	2160	1269	2073
27	897	1670	927	1692	853	1603	1205	2047	989	1746	1323	2148	1255	2061
28	872	1649	901	1673	829	1583	1183	2029	970	1730	1309	2136	1241	2048
29	846	1628	877	1653	805	1563	1161	2011	951	1714	1295	2123	1226	2036
30	820	1607	852	1633	780	1542	1139	1992	931	1698	1280	2111	1211	2023
31	792	1585	827	1613	754	1522	1115	1973	910	1681	1265	2098	1196	2010
32	764	1562	801	1592	727	1500	1092	1953	889	1663	1250	2085	1181	1997
33	735	1539	774	1570	700	1478	1067	1933	868	1646	1234	2072	1165	1984
34	705	1515	749	1548	671	1456	1042	1913	846	1628	1218	2058	1148	1970
35	675	1491	718	1526	642	1433	1017	1892	823	1609	1202	2044	1132	1956
36	643	1466	689	1503	612	1409	990	1871	800	1591	1185	2031	1115	1942
37	610	1441	659	1479	581	1385	963	1849	776	1571	1168	2016	1097	1927
38	577	1415	629	1455	550	1361	935	1827	752	1552	1151	2002	1080	1913



Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
38	542	1389	597	1420	517	1335	907	1804	727	1537	1133	1987	1062	1898
39	524	1367	569	1415	483	1310	878	1781	701	1512	1115	1972	1043	1883
40	461	1313	531	1380	448	1284	848	1758	675	1491	1076	1957	1024	1867
41	491	1305	486	1354	413	1257	817	1734	648	1470	1078	1942	1005	1852
42	392	1276	460	1327	376	1229	786	1710	620	1448	1058	1926	986	1836
43	352	1246	429	1299	337	1201	754	1685	591	1426	1039	1910	966	1819
44	310	1216	386	1272	298	1172	720	1659	552	1404	1019	1894	945	1803
45	266	1185	347	1243	257	1143	686	1633	512	1381	999	1878	925	1786
46	211	1153	305	1214	215	1113	651	1607	472	1358	978	1861	903	1769
47	173	1121	265	1184	171	1082	616	1580	430	1334	957	1844	882	1752
48	126	1090	222	1154	126	1051	579	1553	388	1310	935	1827	860	1734
49	76	1054	177	1127	79	1019	541	1525	345	1285	913	1809	837	1717
50	23	1019	131	1091	30	986	502	1496	302	1260	891	1792	814	1699
51		983	87	1058		953	462	1467	260	1235	868	1774	791	1682
52		947	52	1025		918	420	1438	219	1209	845	1755	767	1664
53		910		991		883	378	1407	178	1182	821	1737	742	1643
54		871		956		847	334	1377	135	1155	796	1718	717	1623
55		832		921		810	289	1345	94	1127	772	1699	692	1604
56		792		884		772	241	1313	53	1099	746	1679	666	1584
57		751		847		733	193	1280	100	1070	721	1660	639	1564
58		708		809		694	142	1247	57	1041	694	1639	612	1543
59		665		770		653	99	1213	14	1011	667	1619	584	1522
60		620		730		611	36	1178		981	640	1599	556	1501
61		575		689		568		1143		949	612	1578	527	1480
62		527		646		524		1107		918	583	1556	497	1458
63		479		603		479		1070		885	554	1535	467	1436

Диаметр 1220 мм

Таблица 5

Внутреннее давление нефти $P$ , МПа	Напряжения изгиба в переходе $\sigma_m$ (МПа) при толщине стенки трубы $\delta$ (мм), пределе текучести $R_2^m$ (МПа), марке стали и категории участков В, I, II											
	$\delta=12,5$ $R_2^m=420$ ФРГ		$\delta=14,5$ $R_2^m=360$ 17Г1С		$\delta=15$ $R_2^m=400$ 14Г2САФ		$\delta=15,2$ $R_2^m=360$ 17Г1С		$\delta=16,8$ $R_2^m=360$ 17Г1С		$\delta=16,8$ $R_2^m=400$ 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
01	1582	2302	1212	1898	1460	2222	1212	1898	1213	1899	1461	2223
02	1512	2372	1203	1849	1451	2213	1204	1890	1206	1841	1453	2215
03	1560	2361	1193	1800	1442	2205	1195	1881	1197	1889	1445	2208
04	1548	2350	1183	1870	1433	2195	1185	1872	1189	1875	1437	2199
05	1536	2338	1172	1860	1423	2186	1175	1862	1180	1867	1428	2191
06	1623	2326	1161	1849	1412	2176	1167	1852	1171	1855	1419	2182
07	1600	2313	1149	1838	1401	2166	1153	1842	1161	1849	1409	2174
08	1494	2299	1137	1827	1389	2155	1141	1831	1151	1839	1400	2169
09	1479	2285	1123	1815	1377	2144	1129	1820	1140	1830	1389	2155
10	1463	2271	1110	1802	1365	2132	1116	1808	1129	1820	1379	2145
11	1447	2256	1096	1789	1352	2121	1103	1796	1117	1809	1368	2135
12	1430	2241	1081	1776	1338	2108	1089	1784	1105	1798	1356	2124

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	1411	2225	1065	1763	1324	2096	1075	1771	1093	178,7	1344	2114
14	1393	2208	1044	1748	1310	2083	1060	1758	1080	177,6	1322	2103
15	1373	2191	1033	1734	1295	2070	1044	1744	1067	176,4	1319	2091
16	1353	2174	1015	1719	1279	2056	1028	1730	1053	175,2	1306	2080
17	1332	2156	997	1703	1263	2042	1012	1716	1039	173,9	1293	2068
18	1311	2137	979	1687	1247	2028	995	1701	1024	172,7	1279	2056
19	1288	2118	960	1671	1230	2013	977	1686	1009	171,4	1265	2043
20	1265	2098	940	1654	1212	1998	958	1670	994	170,0	1250	2031
21	1242	2078	919	1636	1194	1982	939	1654	978	168,6	1235	2017
22	1217	2057	898	1619	1175	1966	920	1637	961	167,2	1220	2004
23	1191	2036	876	1600	1156	1950	900	1620	944	165,8	1204	1990
24	1165	2014	853	1581	1136	1933	879	1603	927	164,3	1187	1976
25	1138	1992	830	1562	1116	1916	858	1585	909	162,8	1171	1962
26	1110	1969	806	1542	1095	1898	835	1566	890	161,2	1153	1947
27	1081	1945	781	1522	1074	1880	813	1548	871	159,6	1136	1932
28	1052	1921	756	1501	1052	1862	789	1528	852	158,0	1118	1917
29	1021	1896	729	1479	1029	1843	765	1509	832	156,3	1099	1901
30	989	1870	702	1457	1005	1824	740	1488	811	154,6	1080	1886
31	957	1844	674	1435	982	1804	715	1468	790	152,9	1061	1869
32	923	1817	645	1412	957	1784	688	1447	768	151,1	1041	1853
33	889	1790	615	1388	932	1763	661	1425	746	149,3	1020	1836
34	853	1762	585	1364	906	1742	633	1403	723	147,4	999	1818
35	816	1733	553	1340	879	1721	605	1380	700	145,5	978	1801
36	778	1704	520	1314	852	1699	575	1357	675	143,6	956	1783
37	739	1674	487	1288	823	1677	545	1333	651	141,6	933	1765
38	699	1643	452	1262	795	1654	513	1309	625	139,6	910	1746

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
39	657	1611	416	1235	165	1630	481	1284	599	1376	887	1727
40	618	1579	379	1207	735	1607	448	1259	572	1355	862	1708
41	570	1546	340	1178	703	1582	413	1233	545	1333	838	1688
42	524	1512	301	1149	671	1558	378	1206	517	1311	812	1668
43	476	1478	260	1119	638	1532	342	1179	488	1289	787	1647
44	427	1442	217	1089	604	1507	304	1152	458	1266	760	1627
45	378	1406	173	1058	569	1480	265	1123	427	1243	733	1605
46	322	1369	127	1026	533	1453	225	1094	396	1219	705	1584
47	267	1331	80	993	497	1426	183	1065	363	1195	676	1562
48	210	1292	30	960	458	1398	140	1034	330	1171	647	1539
49	150	1252		925	419	1369	95	1003	296	1146	617	1516
50	87	1211		890	379	1340	48	972	260	1120	587	1493
51	22	1170		854	337	1311		939	224	1094	555	1470
52		1127		817	294	1280		906	186	1067	523	1446
53		1083		779	250	1249		872	147	1040	490	1421
54		1038		740	204	1218		837	107	1012	456	1396
55		994		700	156	1185		802	66	984	421	1371
56		949		659	107	1152		765	23	955	385	1345
57		895		617	55	1119		728		925	348	1318
58		845		574	02	1089		690		895	310	1292
59		793		530		1049		650		864	271	1264
60		740		484		1013		610		832	231	1236
61		686		437		977		569		800	190	1208
62		629		388		939		526		767	147	1179
63		571		338		901		483		734	103	1150
64		511		286		862		438		699	57	1120

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	<u>3</u>
2. Нагрузки и напряжения в эксплуатируемом подводном нефтепроводе	<u>4</u>
3. Расчет предельно допустимого внутреннего давления Литература	<u>7</u> <u>10</u>
4. Приложение I. Программы для расчета напряжений изгиба в подводных трубопроводах	<u>11</u>
5. Приложение II. Определение предельно допустимого давления в нефтепроводе на участках подводных переходов	<u>29</u>

**М Е Т О Д И К А**  
**РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ДАВЛЕНИЙ**  
**В ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ**  
**НЕУТЕПРОВодОВ**  
**РД 39-30-1090-84**

Издание ВНИИСПГнефть  
450055, г. Уфа, просп. Октября, 144/3

Редактор Л.В.Батуркина  
Технический редактор Л.А.Кучерова

---

Подписано к печати 15.07.85 г. П03488  
Формат 60x90/16. Уч.-изд.л. 2,2. Тираж 200 экз.  
Заказ 154

---

Ротапринт ВНИИСПГнефть