МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

·ВНИИСТ·

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ ИЗМЕНЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Р 539-84

ВНИИСТ

МОСКВА 1984

gost.e-ecolog.ru

УДК 622.691.47.001.2

В настоящих Рекомендациях приведены методы расчета изменения давления внутри трубопровода в процессе испытаний, которые позволяют рассчитывать продолжительность подъема давления до испытательного и величину падения давления при изменении температуры испытательной среды, а также методика расчета изменения давления в процессе распространения гидравлических волн в заполненном жидкостью трубопроводе, которая позволяет определять допустимую величину скачков давления при его подъеме внутри трубопровода до испытательного.

В Рекомендациях предложена программа АСТРА для расчета на ЭВМ процесса распространения гидравлических волн.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, занятых производством работ по испытанию магистральных трубопроводов.

Рекомендации разработаны лабораторией очистки полости и испытания трубопроводов ВНИИСТа кандидатами техн.наук Ю.В.Колотиловым, Е.М.Климовским, В.В. Рождественским. В составлении Рекомендаций принимал участие д-р техн.наук Б.Л.Кривошеин – НИПИОргнефтегазстрой.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1984

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Рекомендации по расчету изменений давления и температуры при гидравлическом испытании магистральных трубопроводов	Р 539-84 Впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Рекомендации разработаны в развитие глав СНиП III-42-80 "Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ".

I.2. Комплекс работ по гидравлическому испытанию включает несколько этапов:

заполнение трубопровода испытательной средой;

подъем давления до испытательного;

испытание на прочность;

испытание на герметичность.

I.3. Заполнение трубопровода испытательной средой осуществляют наполнительными агрегатами, при этом из трубопровода удаляется воздух. Подъем давления до испытательного осуществляют опрессовочными агрегатами.

I.4. Рекомендации предназначены:

для расчета продолжительности подъема давления в трубопроводе до испытательного;

для расчета величины падения давления при изменении температуры испытательной среды;

для расчета изменения давления в процессе распространения гидравлических волн.

2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

2.I. Время подъема давления (Δt) от начального P_0 до испытательного $P_{исп}$ с помощью группы опрессовочных агрегатов с учетом возможного наличия в трубопроводе воздушных пробок определим соотношением:

Внесены ОПП ВНИИСТа	Утверждено ВНИИСТом 21 апреля 1984 г.	Срок введения в действие I декабря 1984 г.

$$\Delta t = \frac{\pi D_0^2 L}{4 \sum_{i=1}^{n} Q_i} (P_{исп} - P_0) \left[\frac{(1 - \nu^2) D_0}{\delta E} + \frac{K_0}{Z_0 P_{исп}} \right], \qquad (I)$$

где L – протяженность испытываемого участка, м;

D_0 – диаметр трубопровода, м;

$P_{исп}$ – испытательное давление, Н/м^2;

P_0 – начальное давление, Н/м^2;

Q_i – производительность i –го опрессовочного агрегата, м^3/ч;

n – количество опрессовочных агрегатов;

E – модуль Юнга, Н/м^2;

ν – коэффициент Пуассона;

δ – толщина стенки трубы, м;

K_0 – часть испытываемого трубопровода, занятая воздухом;

Z_0 – коэффициент сжимаемости воздуха.

2.2. Коэффициент сжимаемости воздуха (Z_0) находим по уравнению Бертло:

$$Z_0 = 1 + 0{,}07 \frac{P_0 T_{кр}}{T_0 P_{кр}} \left[1 - 6 \left(\frac{T_{кр}}{T_0} \right)^2 \right], \qquad (2)$$

где T_0 – температура испытательной среды, К;

$T_{кр}$ – критическая температура воздуха, К;

$P_{кр}$ – критическое давление воздуха, Н/м^2.

2.3. Пример аналитического расчета продолжительности подъема давления до испытательного при гидравлическом испытании участка магистрального трубопровода приведен в приложении I рекомендуемом.

2.4. Изменение давления (ΔP) внутри трубопровода, вызванное изменением температуры испытательной среды (ΔT),описывается состоянием

$$\Delta P = \frac{1}{2 f_1} \left[f_1 P_1 - f_2 - \sqrt{(f_1 P_1 - f_2)^2 + 4 f_1 P_1 (f_2 + f_3)} \right], \qquad (3)$$

где $$f_1 = C + m + m C P_1 - K_1 C_j \qquad (4)$$

$$f_2 = (2\alpha - \beta - m \beta P_1 + K_1 \beta) \Delta T - K_1 j \qquad (5)$$

$$f_3 = \frac{T_2}{T_1} K_1 j \qquad (6)$$

$$m = \frac{1 - \nu/2}{\delta E} D_0 j \qquad (7)$$

P_I – начальное давление в трубопроводе, Н/м^2;

T_I – начальная температура испытательной среды, К;

T_2 – температура испытательной среды в процессе выдержки участка под испытательным давлением ($\Delta T = T_I - T_2$), К;

C – коэффициент сжимаемости воды, м^2/Н;

α – коэффициент температурного расширения стали, $К^{-I}$;

β – коэффициент температурного расширения воды, $К^{-I}$;

K_I – часть испытываемого трубопровода, занятая воздухом.

2.5. Зная время подъема давления до P_I (см.п.2.I), коэффициент K_I определяем по формуле

$$K_1 = P_0 Z_1 \left[\frac{4\Delta t \sum_{i=1}^{n} Q_i}{\pi D_0^2 L (P_1 - P_0)} - m \right], \qquad (8)$$

где

$$Z_1 = 1 + 0{,}07 \frac{P_1 T_{кр}}{T_1 P_{кр}} \left[1 - 6 \left(\frac{T_{кр}}{T_1} \right)^2 \right].$$

2.6. Пример аналитического расчета изменения давления в процессе гидравлическсого испытания участка магистрального трубопровода при изменении температуры испытательной среды приведен в приложении 2 рекомендуемом.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

Математическая модель процесса распространения гидравлических волн

3.I. Система, описывающая нестационарное движение жидкости в упругом трубопроводе, имеет следующий вид:

а) уравнение движения:

$$\frac{\partial(\rho W f)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho W^2 f)}{\partial x} = -f \frac{\partial P}{\partial x} - \lambda \frac{\pi D}{8} \rho W |W| - \rho g f \sin\alpha; \qquad (9)$$

б) уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial(\rho f)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho W f)}{\partial x} = 0; \qquad (10)$$

в) уравнение состояния:

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{P - P_0}{K} \right). \qquad (11)$$

В уравнениях (9)-(II) приняты обозначения:

P – среднее по сечению трубы давление жидкости, Н/м^2;

ρ – средняя по сечению трубы плотность жидкости, кг/м^3;

W – средняя по сечению трубы скорость жидкости, м/с;

D – диаметр трубопровода, м;

f – площадь поперечного сечения трубопровода, м^2;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

ρ_0 – плотность жидкости при давлении P_0, кг/м^3;

P_0 – начальное давление жидкости в трубопроводе, Н/м^2;

K – модуль объемного сжатия жидкости, Н/м^2;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

α – угол возвышения оси трубопровода над горизонтом;

x – координата вдоль оси трубы, м;

t – время, с.

3.2. Приращение диаметра и площади поперечного сечения трубы за счет упругих деформаций стенок трубопровода в окружном направлении под действием внутреннего давления определяем по формулам

$$D = D_0\left[1 + \frac{(1-\nu^2)D_0}{2\delta E}P\right]; \qquad (12)$$

$$f = f_0\left[1 + \frac{(1-\nu^2)D_0}{\delta E}P + \left(\frac{1-\nu^2}{2\delta E}D_0 P\right)^2\right], \qquad (13)$$

где E – модуль Юнга, Н/м^2;

ν – коэффициент Пуассона.

3.3. В качестве начальных условий в практических расчетах задаем распределение давления (P) и скорости (W) по длине трубопровода в начальный момент времени:

$$P(x,0) = P(x), \quad W(x,0) = 0. \qquad (14)$$

3.4. В качестве граничных условий задаем изменение давления и скорости соответственно в начале (x = 0) и конце (x = ℓ) испытываемого участка.

Граничное условие для давления жидкости в сечении x = 0 принимаем в виде:

$$P(0,t) = P_0 + \Delta P, \qquad (15)$$

где ΔP – величина скачка давления, Н/м^2.

При распространении гидравлических волн в замкнутом участке магистрального трубопровода граничным условием для скорости жидкости в конце участка будет

$$W(L,t)=0. \qquad (16)$$

3.5. В качестве исходных данных для расчета изменения давления зададим следующие величины:

L – протяженность испытываемого участка, м;

D – диаметр трубопровода, м;

P_0 – начальное давление, Н/м^2;

ΔP – скачок давления в сечении x = 0, Н/м^2;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

K – модуль объемного сжатия жидкости, Н/м^2;

E – модуль Юнга, Н/м^2;

ν – коэффициент Пуассона;

δ – толщина стенки трубы, м;

ρ_0 – плотность воды при давлении P_0, кг/м^3.

3.6. Дифференциальные уравнения (9)–(10), описывающие процесс распространения гидравлических волн в заполненном жидкостью трубопроводе, аппроксимируют замкнутой системой алгебраических соотношений, которую решают с помощью неявной схемы метода сеток.

Длину испытываемого участка разбивают на (N –I) равных интервалов. Уравнения движения вместе с начальными и граничными условиями, представленные в разностном виде, образуют систему алгебраических уравнений для каждого момента времени. Последовательное решение этих систем уравнений на каждом шаге по времени позволяет определить значения гидродинамических функций P и W во всех дискретных точках-узлах по длине трубопровода.

3.7. Расчет гидродинамических параметров (давления и скорости) в процессе распространения гидравлических волн в трубопроводе при гидравлическом испытании выполняют по программе АСТРА.

Реализация метода на ЭВМ

3.8. Алгоритм программы АСТРА и подпрограммы PROGON оформлен в виде программы на алгоритмическом языке ФОРТРАН (приложение 3 рекомендуемое).

Пример расчета гидродинамических параметров приведен в приложении 4 рекомендуемом.

В программе АСТРА приняты следующие обозначения, приведенные в таблице.

Символы алгоритма	Идентификаторы программы	Параметры и массивы
L	AL	Протяженность испытываемого участка
D	D	Диаметр испытываемого участка
P_0	P_I	Начальное давление жидкости
W_0	WI	Начальная скорость жидкости
δ	DEL	Толщина стенки трубы
E	E	Модуль Юнга
ν	ANU	Коэффициент Пуассона
K	AK	Модуль объемного сжатия жидкости
ρ_0	RO	Плотность жидкости при давлении P_0
α	H_I	Угол возвышения оси трубопровода
λ	ALAM	Коэффициент гидравлического сопротивления
$P(0,t)$	FIMAX	Граничное условие для давления
$N-1$	N-1	Число интервалов разбиения области интегрирования
h	H	Шаг по координате при численном интегрировании
τ	TAU	Шаг по времени при численном интегрировании
—	I	Рабочие переменные целого типа
—	J	
—	NT	
—	NP	
—	NPX	

3.9. При реализации программы расчета гидродинамических параметров на ЭВМ на печать выводим значения давления (PP) и скорости (WW) жидкости внутри трубопровода в дискретных точках-узлах по длине трубопровода во времени (TIME).

Для каждого момента времени (TIME) значения найденных функций P и W печатаются построчно. Количество выдаваемых на печать точек определяется значением операторов NPX (по координате x) и NP (по координате t).

3.10. Размерность выводимых на печать значений:

PP – давление, МПа;

WW – скорость, м/с;

TIME – время, с.

3.11. Первое число в строке, определяющее величину данного параметра (PP) или (WW), соответствует сечению x = 0.

Для определения расстояния между следующим сечением, в которым выдаются на печать рассчитанные параметры, и началом испытываемого участка (x = 0) следует воспользоваться формулой

$$\ell = \frac{(n-1)L}{N-1} NPX, \qquad (17)$$

где n – порядковый номер числа в соответствующей строке (PP) или (WW);

L – протяженность участка;

$(N-1)$ – количество интервалов разбиения области интегрирования;

NPX – количество точек (узлов), через которое печатаются рассчитываемые параметры (NPX = 1 – параметры печатаются во всех точках; NPX = 2 – через две, начиная с точки x = 0 и т.д.).

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение I
Рекомендуемое

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОДЪЕМА ДАВЛЕНИЯ ДО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО

Необходимо найти время подъема давления до испытательного в данном участке магистрального трубопровода.

Исходные параметры

L = 20 км – протяженность испытываемого участка;
D_0 = I,389 м – диаметр трубопровода;
δ = I6,5 мм – толщина стенки трубы;
P_0 = I МПа – начальное давление;
$P_{исп}$ = 8,25 МПа – испытательное давление;
n = 3 – количество опрессовочных агрегатов;
Q_i = 30 м^3/ч – производительность одного агрегата;
E = 206 ГПа – модуль Юнга;
ν = 0,3 – коэффициент Пуассона;
K_0 = 0,05 – часть трубопровода, занятая воздухом;
$T_{кр}$ = I32,3 К – критическая температура воздуха;
$P_{кр}$ = 3,77 МПа – критическое давление воздуха;
T_0 = 288 К – температура испытательной среды.

Решение

Примем следующую последовательность расчета.

I. По формуле (2) определяем коэффициент сжимаемости воздуха:

$$Z_0 = I+0,07\,\frac{I\cdot I0^6\cdot I32,3}{288\cdot 3,77\cdot I0^6}\cdot\left[\,I-6\,\left(\frac{I32,3}{288}\right)^2\right] = 0,998.$$

2. По формуле (I) находим время подъема давления до испытательного при наличии в трубопроводе воздушной пробки:

$$\Delta t = \frac{3,I4\cdot I,389^2\cdot 20000}{4\cdot(3\cdot 30)}\,(8,25\cdot I0^6 - I\cdot I0^6)\times$$

$$\times\left[\frac{(I-0,3^2)\cdot I,389}{206\cdot I0^9\cdot 0,0I65}+\frac{0,05}{8,25\cdot I0^6\cdot 0,998}\right] = I5,7\ \text{ч}.$$

Таким образом, в результате расчетов получаем время подъема давления до испытательного (Δt) внутри данного участка магистрального трубопровода.

Приложение 2
Рекомендуемое

ПРИМЕР РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ПАДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Необходимо найти падение давления внутри трубопровода (ΔP), вызванное тепловым взаимодействием трубопровода с грунтом, при его выдержке под испытательным давлением.

Исходные данные

L = 20 км – протяженность испытываемого участка трубопровода;

D_0 = I,389 м – диаметр трубопровода;

δ = I6,5 мм – толщина стенки трубы;

P_0 = I МПа – начальное давление;

P_I = 8,25 МПа – испытательное давление;

T_I = 288 К – начальная температура испытательной среды;

T_2 = 280 К – температура испытательной среды в процессе выдержки;

$C = 47 \cdot 10^{-5}$ МПа$^{-I}$ – коэффициент сжимаемости воды;

$\alpha = I,2 \cdot 10^{-5}$ К$^{-I}$ – коэффициент температурного расширения стали;

$\beta = 20,I9 \cdot 10^{-5}$ К$^{-I}$ – коэффициент температурного расширения воды;

Δt = 30 ч – время подъема давления от P_0 до испытательного P_I;

Q_i = 30 м^3/ч – производительность одного опрессовочного агрегата;

n = 3 – количество опрессовочных агрегатов.

Решение

Примем следующую последовательность расчета.

I. По формуле (7) определяем коэффициент m :

$$m = \frac{(I - 0,3^2) \cdot I,389}{C,0I65 \cdot 206 \cdot I0^9} = 0,372 \cdot I0^{-9}.$$

2. По формуле (8) определяем коэффициент K_T – часть испытываемого участка трубопровода, занятая воздухом:

$$Z = I + 0,07 \frac{8,25 \cdot I0^6 \cdot I32,3}{288 \cdot 3,77 \cdot I0^6} \left[I - 6 \cdot \left(\frac{I32,3}{288} \right)^2 \right] = 0,98I,$$

$$K_T = I \cdot I0^6 \cdot 0,98I \left[\frac{4,30 \cdot (3,30)}{3,I4 \cdot I,389^2 \cdot 20 \cdot I0^3 \cdot (8,25 - I) \cdot I0^6} - 0,372 \cdot I0^{-9} \right] =$$

$$= 0,0II7.$$

3. По формулам (4)-(6) находим значения коэффициентов f_1, f_2 и f_3 :

$$f_1 = 47.10^{-11}+0,372.10^{-9}+47.10^{-11}.0,372.10^{-9}.8,25.10^{6}-0,0117\times$$
$$\times 47.10^{-11} = 84.10^{-11},$$

$$f_2 = (2.1,2.10^{-5}-20,19.10^{-5}-20,19.10^{-5}.0,372.10^{-9}.8,25.10^{6}+$$
$$+ 0,0117.20,19.10^{-5})\cdot 8 - 0,0117 = -0,0131,$$

$$f_3 = \frac{280}{288}\cdot 0,0117 = 0,0114.$$

4. По формуле (3) находим изменение давления (ΔP) при изменении температуры испытательной среды на $\Delta T=T_1-T_2=8^{0}C$:

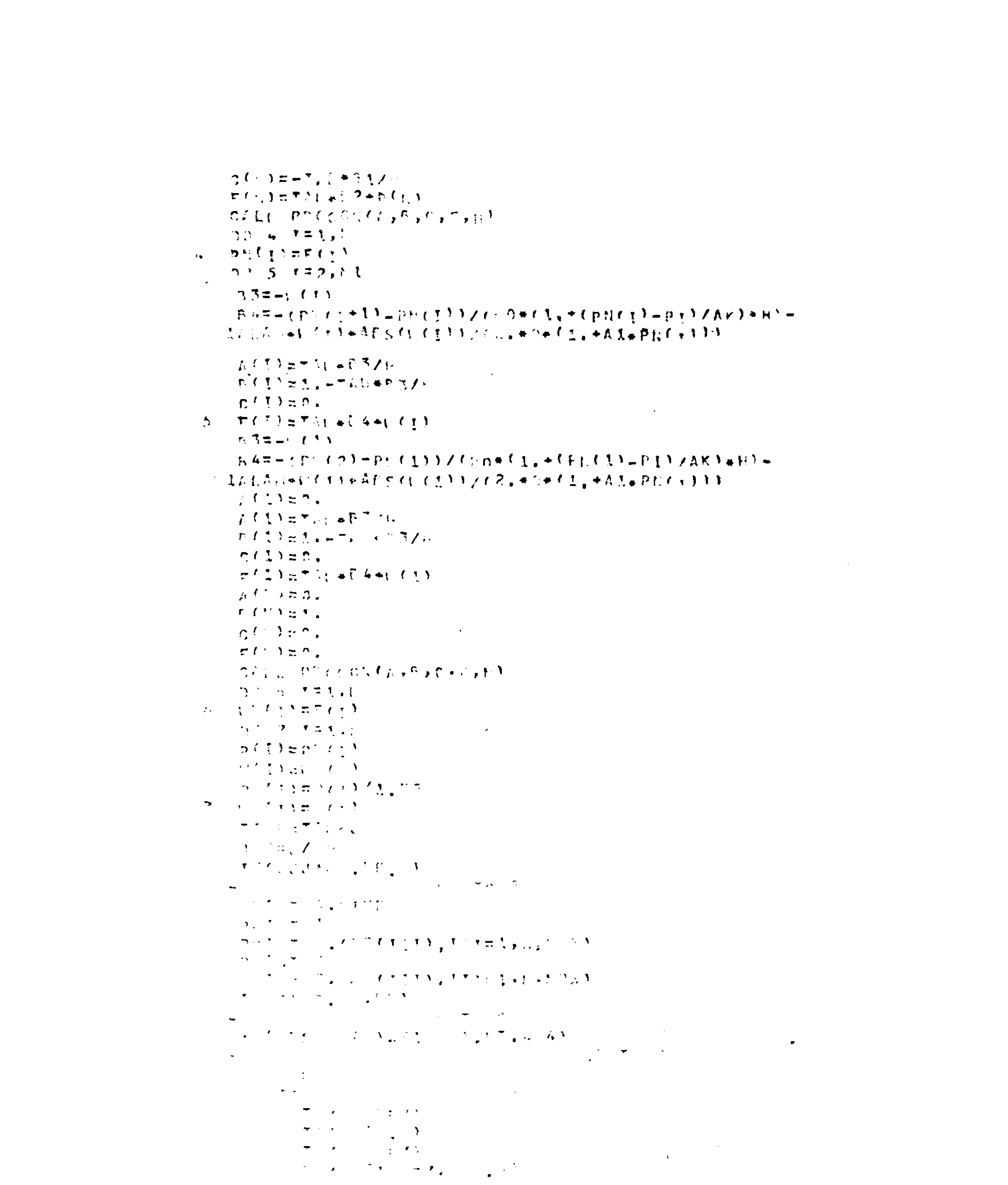
$$\Delta P = \frac{1}{2.84.10^{-11}}\left[84.10^{-11}.8,25.10^{6} + 0,0131 - \sqrt{(84.10^{-11}\cdot 8,25.10^{6}+0,0131)^{2}+4.84.10^{-11}.8,25.10^{6}(-0,0131+0,0114)}\right] = 0,73.10^{6}\ Н/м^{2}.$$

В результате расчетов получена величина изменения давления внутри трубопровода при его испытании, что было вызвано тепловым взаимодействием трубопровода с грунтом.

Приложение 3
Рекомендуемое

ПРОГРАММА АСТРА НА АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ ФОРТРАН

```
      DIMENSION P(100),W(100),PN(100),WN(100)
     1,PP(100),WW(100),A(100),B(100),C(100),F(100)
      N=20
      NP=50
      NPX=1
      AL=1.E4
      D=1.389
      DEL=.0165
      E=20.6E10
      BB=10.
      AMU=.3
      AK=2.E9
      RO=1003.76
      W1=0.
      A1/R=.05
      A1=(1.-AMU**2)*D/(2.*E*DEL)
      SIMAX=85.E5
      TAU=.01
      H=AL/(N-1)
      N1=N-1
      PI=80.E5
      WI=0
      WT=32000
      DO 1 I=1,N
      P(I)=PI
      W(I)=WI
    1 CONTINUE
      DO 2 III=1,N
      PP(III)=P(III)/1.E5
    2 WW(III)=W(III)
      PRINT 1
      PRINT 2,(PP(III),III=1,N,NPX)
      PRINT 3
      PRINT 2,(WW(III),III=1,N,NPX)
      DO 8 J=1,NP
      DO 3 I=2,N1
      F1=-W(I)
      F2=-((AK-PI)/(2.*A1*(AK-PI+1.))+P(I))*(W(I)-W(I-1))/H
      A(I)=0.
      B(I)=1.+TAU*A1/H
      C(I)=-TAU*A1/H
    3 F(I)=TAU*F2+W(I)
      CONTINUE
      A(1)=0.
      B(1)=1.
      C(1)=0.
      F(1)=P(1)-AMU*W(1)
      N1=N-1
      F2=-((P(N)-P(N1))/(2.*A1*(AK-P(N)+1.))+P(N))*(W(N)-W(N-1))/H
      A(N)=0.
      B(N)=1.+TAU*A1/H
      C(N)=0.
```



```
      SUBROUTINE PROGON(A,B,C,F,N)
      DIMENSION A(1),B(1),C(1),F(1)
      NM1=N-1
      DO 1 I=1,NM1
      C(I)=C(I)/B(I)
      F(I)=F(I)/B(I)
      B(I+1)=B(I+1)-C(I)*A(I+1)
    1 F(I+1)=F(I+1)-F(I)*A(I+1)
      F(N)=F(N)/B(N)
      DO 2 I=1,NM1
    2 F(N-I)=F(N-I)-C(N-I)*F(N-I+1)
      RETURN
      END



      FUNCTION F1(X)
      F1=65.*5
      RETURN
      END
```

Приложение 4
Рекомендуемое

ПРИМЕР РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

Необходимо найти изменение давления внутри заполненного жидкостью участка трубопровода при скачкообразном изменении давления во входном сечении испытываемого участка.

Исходные данные

L = 10 км – протяженность участка;

D = 1,389 м – диаметр;

P_0 = 8 МПа – начальное давление;

ΔP = 0,5 МПа – величина скачка давления;

λ = 0,05 – коэффициент гидравлического сопротивления;

K = $2,1 \cdot 10^3$ МПа – модуль объемного сжатия воды;

E = $20,6 \cdot 10^4$ МПа – модуль Юнга;

ν = 0,3 – коэффициент Пуассона;

δ = 16,5 мм – толщина стенки трубы;

ρ_0 = 1003,76 кг/м^3 – плотность воды при P_0.

Решение

Описанные выше исходные данные используют в программе АСТРА (см.приложение 3 рекомендуемое). Результаты расчетов по указанной программе приведены на рис.1 в виде зависимостей давления воды по длине трубопровода в различные моменты времени.

Гидравлическое испытание магистрального трубопровода отличается от пневматического тем, что задается не только минимальное испытательное давление в верхней точке ($P_{исп}=1,1\ P_{раб}$), но и максимальное испытательное давление в нижней точке трубопровода, принимаемое равным заводскому испытательному давлению ($P_{зав}$).

Варьируя величину заводского испытательного давления ($P_{зав}$), а также величину скачка давления во входном сечении (ΔP) с учетом рассмотренной выше методики расчета гидродинамических параметров, можно найти зависимость, определяющую величину допустимых скачков давления при гидравлическом испытании данного участка трубопровода.

На рис.2 приведена зависимость допустимых скачков давления от максимального испытательного давления при исходных параметрах предыдущей задачи.

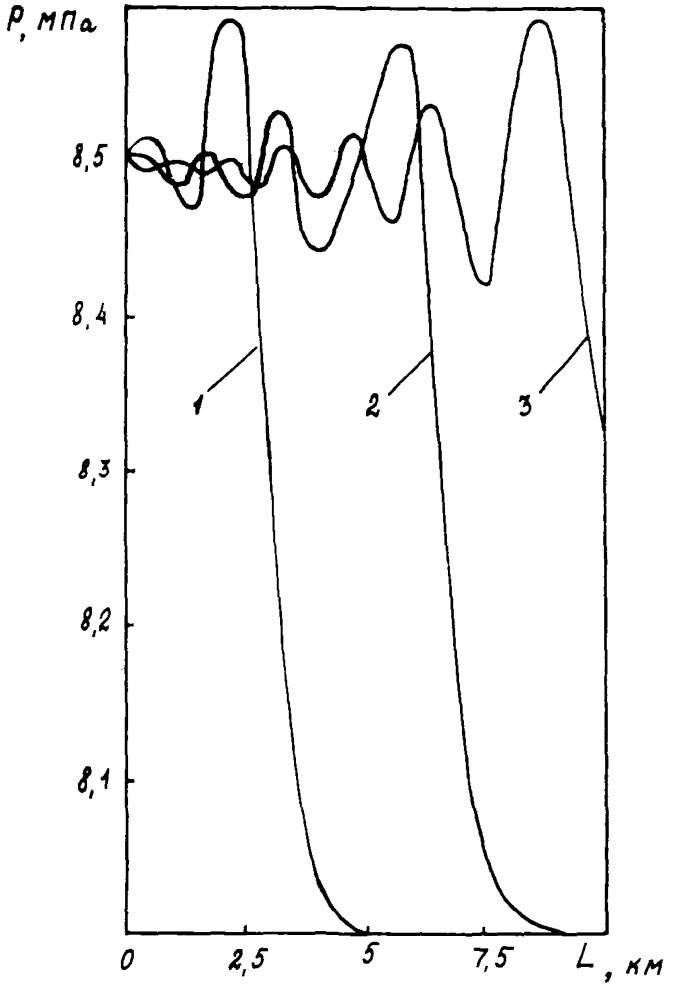


Рис.I. Кривые изменения давления жидкости (P) по длине трубопровода (L) в различные моменты времени (t):
I - t = 3 с; 2 - 6 с; 3 - 9 с

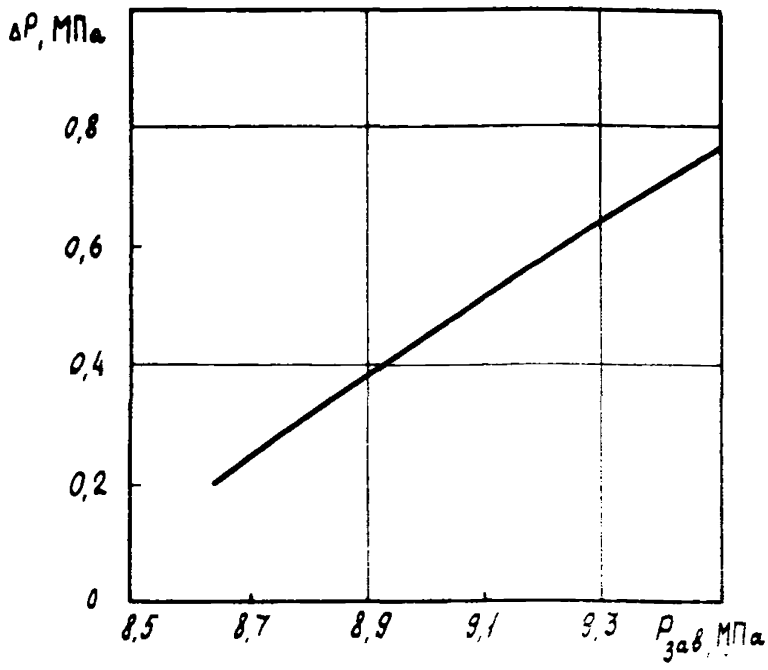


Рис.2. Зависимость допустимых скачков давления (ΔP) от максимального испытательного давления ($P_{зав}$)

Полученная зависимость позволяет регламентировать величину резкого возрастания давления во входном сечении. Так, если на испытываемом участке магистрального трубопровода уложены трубы с $P_{зав}$=8,9 МПа, скачки давления во входном сечении не должны превышать ΔP = 0,4 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

I. Чарный И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М., Недра, 1975, 288 с.

2. СНиП III-42-80 "Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ".

3. Колотилов Ю. В. Возникновение волн давления при гидравлическом испытании трубопроводов. Труды "Надежность конструкций магистральных трубопроводов", ВНИИСТ, 1983, с.59-76.

4. Колотилов Ю. В., Климовский Е. М. Продолжительность опрессовки магистрального трубопровода при гидравлическом испытании. "Строительство трубопроводов", 1983, № 12, с.32-33.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3
2. Аналитические методы расчета технологических параметров при гидравлическом испытании 3
3. Методика расчета изменения давления в процессе распространения гидравлических волн при гидравлическом испытании 5
Приложения II
Литература 20

Рекомендации
по расчету изменений давления и
температуры при гидравлическом испытании
магистральных трубопроводов

Издание ВНИИСТа

Р 539-84

Технический редактор Т.В.Берешева
Редактор Т.Я.Разумовская
Корректор Г.Ф. Меликова

Л-77086 Подписано в печать II/XI 1984г. Формат 60х84/16
Печ.л. I,5 Уч.-изд.л. I,I Бум.л. 0,75
Тираж 400 экз. Цена II коп. Заказ 97

Ротапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru