

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ
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



МОСКВА 1984

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 - НИИОргнефтегастрой.

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

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

1.2. Комплекс работ по гидравлическому испытанию включает несколько этапов:

- заполнение трубопровода испытательной средой;
- подъем давления до испытательного;
- испытание на прочность;
- испытание на герметичность.

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

1.4. 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

2.1. 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 ОПН ВНИИСТА	Утверждено ВНИИСТом 21 апреля 1984 г.	Срок введения в действие 1 декабря 1984 г.
------------------------	--	---

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

где L – протяженность испытываемого участка, м;
 D_0 – диаметр трубопровода, м;
 $P_{исп}$ – испытательное давление, Н/м²;
 P_0 – начальное давление, Н/м²;
 Q_i – производительность i -го опрессовочного агрегата, м³/ч;
 n – количество опрессовочных агрегатов;
 E – модуль Юнга, Н/м²;
 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 Бертоло:

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

где T_0 – температура испытательной среды, К;
 $T_{кр}$ – критическая температура воздуха, К;
 $P_{кр}$ – критическое давление воздуха, Н/м².

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 соотношением

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

где $f_1 = C + m + mCP_1 - K_1 C; \quad (4)$

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

$$f_3 = \frac{T_2}{T_1} K_1; \quad (6)$$

$$m = \frac{1 - \nu^2}{\delta E} D_0; \quad (7)$$

- P_I - начальное давление в трубопроводе, Н/м²;
 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, м²/Н;
 α - коэффициент температурного расширения стали, К⁻¹;
 β - коэффициент температурного расширения воды, К⁻¹;
 K_I - часть испытываемого трубопровода, занятая воздухом.

2.5. Зная время подъема давления до P_I (см. п. 2.1), коэффициент K_I определяем по формуле

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

где

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

2.6. Пример аналитического расчета изменения давления в процессе гидравлического 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

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

а) уравнение движения:

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

б) уравнение неразрывности:

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

в) уравнение состояния:

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

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

$$D = D_0 \left[1 + \frac{(1-\nu^2) D_0 \rho}{2 \delta E} P \right]; \quad (\text{I2})$$

$$f = f_0 \left[1 + \frac{(1-\nu^2) D_0 \rho}{\delta E} P + \left(\frac{1-\nu^2}{2 \delta E} D_0 \rho \right)^2 P^2 \right], \quad (\text{I3})$$

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:

$$P(x, 0) = P(x), \quad W(x, 0) = 0. \quad (\text{I4})$$

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:

$$P(0, t) = P_0 + \Delta P, \quad (\text{I5})$$

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

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

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/м²;
- ΔP – скачок давления в сечении $x = 0$, Н/м²;
- λ – коэффициент гидравлического сопротивления;
- K – модуль объемного сжатия жидкости, Н/м²;
- E – модуль Юнга, Н/м²;
- ν – коэффициент Пуассона;
- δ – толщина стенки трубы, м;
- ρ_0 – плотность воды при давлении P_0 , кг/м³.

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 $(N - 1)$ 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 ЭМ

3.8. Алгоритм программы АСТРА и подпрограммы *PROGON* реализован в виде программы на алгоритмическом языке ФОРТРАН (применение 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	W_I	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	
—	J	
—	NT	
—	NP	
—	NPX	Рабочие переменные целого типа

3.9. При реализации программы расчета гидродинамических параметров на ЭМ 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 котором выдаются на печать рассчитанные параметры, и началом испытываемого участка ($x = 0$) следует воспользоваться формулой

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

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

**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;
- $D_0 = 1,389$ м — диаметр трубопровода;
- $\delta = 16,5$ мм — толщина стенки трубы;
- $P_0 = 1$ МПа — начальное давление;
- $P_{\text{исп}} = 8,25$ МПа — испытательное давление;
- $n = 3$ — количество опрессовочных агрегатов;
- $Q_i = 30$ м³/ч — производительность одного агрегата;
- $E = 206$ ГПа — модуль Юнга;
- $\nu = 0,3$ — коэффициент Пуассона;
- $K_0 = 0,05$ — часть трубопровода, занятая воздухом;
- $T_{\text{кр}} = 132,3$ К — критическая температура воздуха;
- $P_{\text{кр}} = 3,77$ МПа — критическое давление воздуха;
- $T_0 = 288$ К — температура испытательной среды.

Решение

Примем следующую последовательность расчета.

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

$$Z_0 = 1 + 0,07 \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 132,3}{288 \cdot 3,77 \cdot 10^6} \cdot \left[1 - 6 \left(\frac{132,3}{288} \right)^2 \right] = 0,998.$$

2. По формуле (1) находим время подъема давления до испытательного при наличии в трубопроводе воздушной пробки:

$$\Delta t = \frac{3,14 \cdot 1,389^2 \cdot 20000}{4 \cdot (3 \cdot 30)} (8,25 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6) \times$$

$$\times \left[\frac{(1 - 0,3^2) \cdot 1,389}{206 \cdot 10^9 \cdot 0,0165} + \frac{0,05}{8,25 \cdot 10^6 \cdot 0,998} \right] = 15,7 \text{ ч.}$$

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

**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;
 $D_0 = 1,389$ м - диаметр трубопровода;
 $\delta = 16,5$ мм - толщина стенки трубы;
 $P_0 = 1$ 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 $^{-1}$ - коэффициент сжимаемости воды;
 $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$ К $^{-1}$ - коэффициент температурного расширения стали;
 $\beta = 20,19 \cdot 10^{-5}$ К $^{-1}$ - коэффициент температурного расширения воды;
 $\Delta t = 30$ 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.

1. По формуле (7) определяем коэффициент m :

$$m = \frac{(1 - 0,3^2) \cdot 1,389}{C,0155 \cdot 206 \cdot 10^9} = 0,372 \cdot 10^{-9}.$$

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

$$Z = 1 + 0,07 \frac{8,25 \cdot 10^6 \cdot 132,3}{288 \cdot 3,77 \cdot 10^6} \left[1 - 6 \cdot \left(\frac{132,3}{288} \right)^2 \right] = 0,981,$$

$$K_I = 1 \cdot 10^6 \cdot 0,981 \left[\frac{4 \cdot 30 \cdot (3,30)}{3,14 \cdot 1,389^2 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot (8,25 - 1) \cdot 10^6} - 0,372 \cdot 10^{-9} \right] = 0,0117.$$

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

$$f_1 = 47 \cdot 10^{-11} + 0,372 \cdot 10^{-9} + 47 \cdot 10^{-11} \cdot 0,372 \cdot 10^{-9} \cdot 8,25 \cdot 10^6 - 0,0117 \times 47 \cdot 10^{-11} = 84 \cdot 10^{-11},$$

$$f_2 = (2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} - 20,19 \cdot 10^{-5} - 20,19 \cdot 10^{-5} \cdot 0,372 \cdot 10^{-9} \cdot 8,25 \cdot 10^6 + 0,0117 \cdot 20,19 \cdot 10^{-5}) \cdot 8 - 0,0117 = -0,0131,$$

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

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

$$\Delta P = \frac{1}{2 \cdot 84 \cdot 10^{-11}} \left[84 \cdot 10^{-11} \cdot 8,25 \cdot 10^6 + 0,0131 - \sqrt{(84 \cdot 10^{-11} \cdot 8,25 \cdot 10^6 + 0,0131)^2 + 4 \cdot 84 \cdot 10^{-11} \cdot 8,25 \cdot 10^6 (-0,0131 + 0,0114)} \right] = 0,73 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

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

ПРОГРАММА АСТРА НА АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ ФОРТРАН

```

DIMENSION P(100),W(100),PH(100),PW(100)
1,PP(100),VW(100),A(100),B(100),C(100),F(100)
N=20
NP=50
NPR=1
AL=1.F4
D=1.389
DFL=.0165
F=20.6010
BB=10.
AM=.3
AK=2.F9
PC=1003.76
PI=0.
A1/A2=.05
A1=(1.-AM**2)*D/(2.*F*DFL)
S1*AX=85.F5
TAU=.01
H=AL/(N-1)
N1=N-1
PI=80.F5
NY=0
NT=32000
DO 1 I=1,N
P(I)=PI
V(I)=V1
1 CONTINUE
DO 2 I1=1,N
PP(I1)=P(I1)/1.F5
2 V(I1)=V(I1)
PRINT 1
PRINT 2,(PP(I1),I1=1,N,NPR)
PRINT 3
PRINT 2,(V(I1),I1=1,N,NPR)
DO 8 J=1,N
DO 3 I=2,N
P1=-P(I)
P2=-((AK-P1)/(2.*AL*(AK-P1+1.))+P(I))*(V(I)-V(I-1))/H
A(I)=0.
B(I)=1.+TAU*P1/H
C(I)=-TAU*P2/H
C(I)=TAU*P2+C(I)
3 CONTINUE
A(1)=0.
F(1)=1.
C(1)=0.
F(1)=F(1)+20.*J)
B1F=-F(1)
P2=-((B1F-V1)/(2.*AL*(B1F-V1+1.))+P(N))*(V(N)-V(N-1))/H
A(N)=0.
B(N)=1.+TAU*P1/H
C(N)=0.

```

```

C(I)=T*(1+B1)/H
F(I)=T*(1+B2)+B(I)
CALL PROCON(A,B,C,T,H)
DO 5 I=1,N
P(I)=F(I)
DO 5 I=2,N
B3=-P(I)
B4=-(P(I)+1)-P(I))/(2*(1+(P(I)-P(I-1))/AK)*H)-
1/2*(1+B1)+AFS(I(I))/2*(1+(1+A1*P(I)))
A(I)=T*(1+B3)/H
B(I)=1.-T*(1+B3)/H
C(I)=0.
5 F(I)=T*(1+B4)+P(I)
B3=-P(I)
B4=-(P(I)-P(I-1))/(2*(1+(P(I)-P(I-1))/AK)*H)-
1/2*(1+B1)+AFS(I(I))/2*(1+(1+A1*P(I)))
A(I)=0.
B(I)=1.
C(I)=0.
F(I)=T*(1+B4)+P(I)
A(I)=0.
B(I)=1.
C(I)=0.
F(I)=0.
CALL PROCON(A,B,C,T,H)
DO 6 I=1,N
P(I)=F(I)
DO 7 I=1,N
B(I)=P(I)
C(I)=0.
DO 8 I=1,N
P(I)=P(I)/2.
6 F(I)=P(I)
7 B(I)=1.
8 C(I)=0.
END

```

```

SUBROUTINE PROGN(A,B,C,F,N)
DIMENSION A(1),B(1),C(1),F(1)
N1=N-1
DO 1 I=1,N1
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,N1
2 F(I)=F(I)-C(N-I)*F(N-I+1)
RETURN
END

```

```

FUNCTION F(X)
F=65.55
RETURN
END

```


ПРИМЕР РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

Приложение 4
Рекомендуемое

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;
- $\Delta P = 0,5$ МПа – величина скачка давления;
- $\lambda = 0,05$ – коэффициент гидравлического сопротивления;
- $K = 2,1 \cdot 10^3$ МПа – модуль объемного сжатия воды;
- $E = 20,6 \cdot 10^4$ МПа – модуль Юнга;
- $\nu = 0,3$ – коэффициент Пуассона;
- $\delta = 16,5$ мм – толщина стенки трубы;
- $\rho_0 = 1003,76$ кг/м³ – 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. I 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.

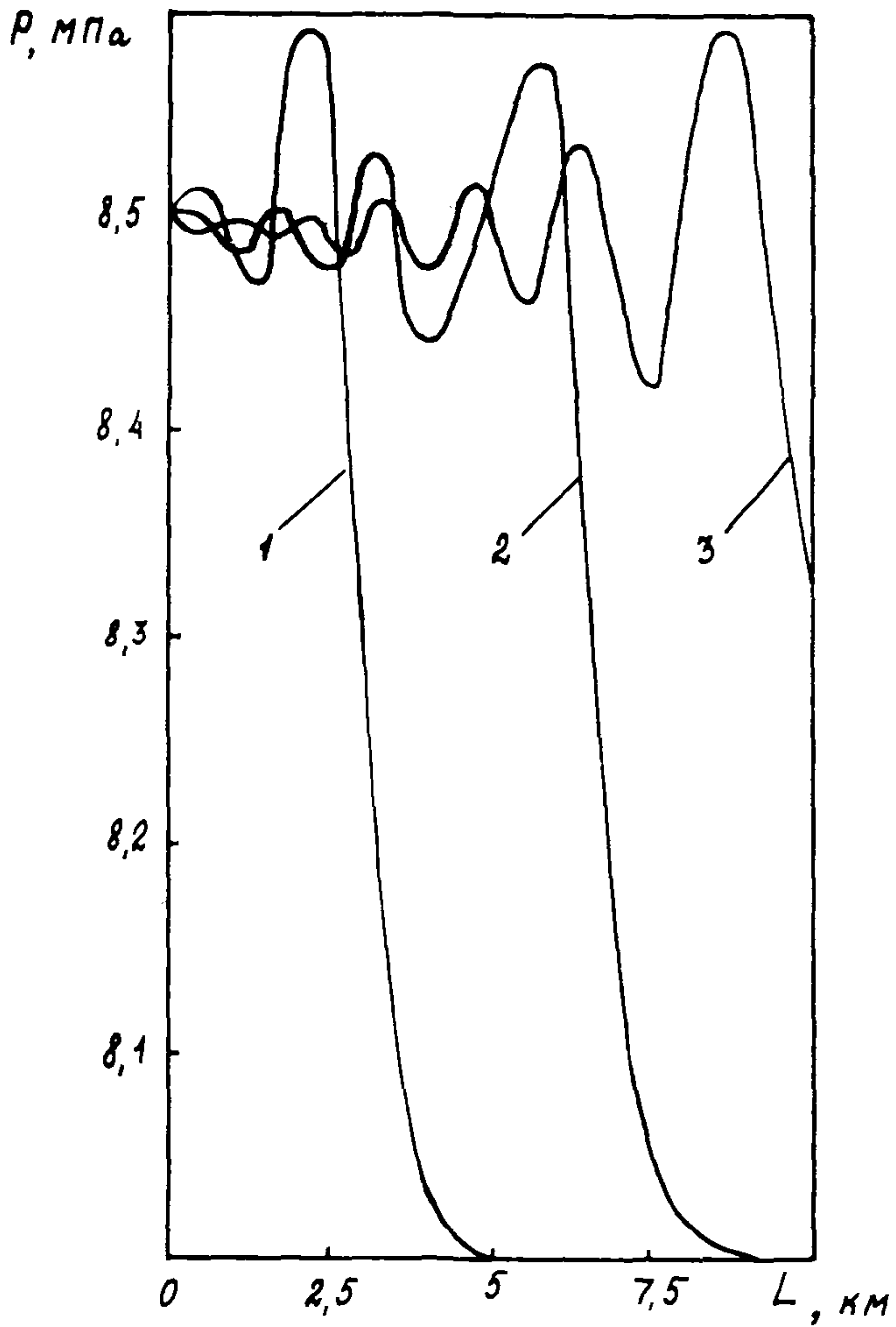


Рис. I. Кривые изменения давления жидкости (P) по длине трубопровода (L) в различные моменты времени (t):
 1 - $t = 3$ с; 2 - 6 с; 3 - 9 с

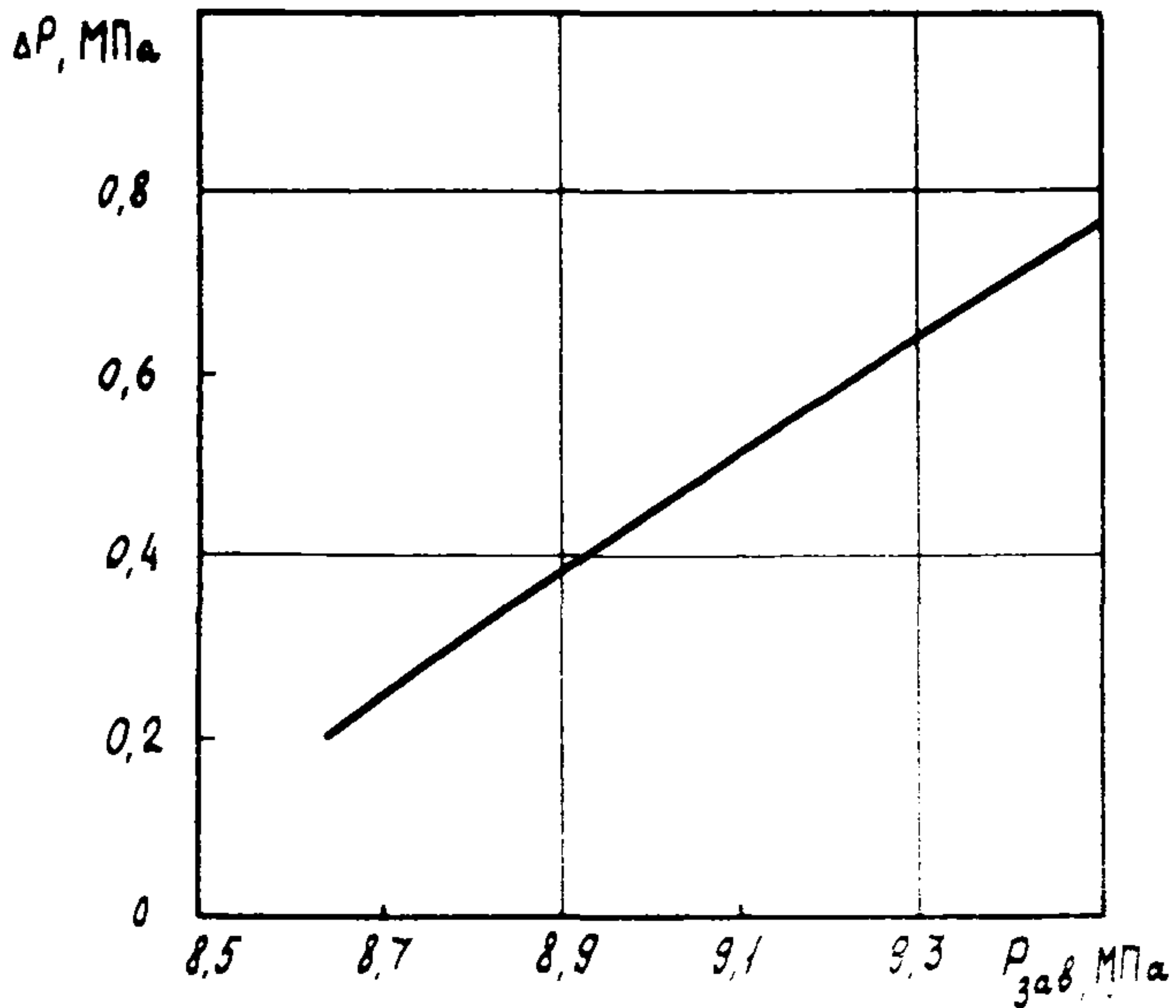


Рис.2. Зависимость допустимых скачков давления (ΔP) от максимального испытательного давления ($P_{зав}$)

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 $\Delta P = 0,4$ МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ч а р н ы й И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М., Недра, 1975, 288 с.

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

3. К о л о т и л о в Ю. В. Возникновение волн давления при гидравлическом испытании трубопроводов. Труды "Надежность конструкций магистральных трубопроводов", ВНИИСТ, 1983, с. 69-76.

4. К о л о т и л о в Ю. В., К л и м о в с к и й 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 техно- логических 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 60x84/16

Печ.л. 1,5

Уч.-изд.л. 1,1

Бум.л. 0,75

Тираж 400 экз.

Цена II коп.

Заказ 97

Ротапринт ВНИИСТА