

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ПРОДУКТОПРОВОДОВ
НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Р 586-85



Москва 1986

УДК 622.692.47.02

Настоящие Рекомендации устанавливают аналитические зависимости (уравнения), связывающие между собой изменение объема (утечку) воды в трубопроводе с изменением давления и температуры трубопровода, их параметрами, количеством воздуха, оставшегося в трубопроводе после заполнения его водой, а также графические зависимости и методику для определения времени температурной стабилизации при гидропротыжаниях магистральных продуктопроводов.

Рекомендации разработали сотрудники лаборатории строительства специальных трубопроводов Киевского филиала ВНИИСТа: кандидаты техн. наук В.И. Коцицкий, Е.И. Могильный, А.А. Свердлов; инженеры А.И. Валеева, Н.В. Туб, А.М. Ханник.

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Рекомендации по методике расчета параметров гидравлических испытаний магистральных трубопроводов на герметичность	P 586-85 Впервые
--	---	---------------------

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации распространяются на технологию гидравлических испытаний линейной части магистральных трубопроводов, прокладываемых подземно.

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

1.3. В Рекомендациях изложены зависимости, описывающие основные закономерности изменения параметров при проведении гидравлических испытаний магистральных трубопроводов.

1.4. При расчете и измерении параметров необходимо руководствоваться "Правилами техники безопасности при строительстве магистральных трубопроводов". - М: Недра, 1982.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА ВОДЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРУБОПРОВОДЕ

2.1. Изменение объема воды ΔV в испытываемом гидравлически загруженном трубопроводе при изменении давления и температуры определяют из уравнения

$$\Delta V = V_{BH} \int \frac{D}{E_f} (1 - \mu^2) (\rho_1 - \rho_2) + C (\rho_1 - \rho_2) - \\ - (\beta - 2\alpha - 2\alpha\mu)(T_1 - T_2) + \varepsilon Z_{CP} \frac{\rho_0}{T_0} \left(\frac{T_2}{D_2} - \frac{T_1}{D_1} \right), \quad (I)$$

где V_{BH} - внутренний объем испытываемого участка, m^3 ;
 D - внутренний диаметр трубопровода, m .

Внесены КФ ВНИИСта

Утверждены № 345-85: Срок введения 24 октября 1985 г.; вступая в действие 1 июля 1986 г.

E - модуль упругости материала трубы, МПа;
 δ - толщина стенки трубы, м;
 μ - коэффициент Пуассона;
 P_1 и P_2 - давление напорной среды (воды), соответствующее началу и концу испытания, МПа;
 C - коэффициент сжимаемости воды, 1/МПа;
 β - коэффициент объемного расширения воды, 1/град;
 α - коэффициент линейного расширения материала трубы, 1/град;
 T_1 и T_2 - температура напорной среды (воды), соответствующая началу и концу испытания, К;
 P_0 - атмосферное давление, МПа;
 T_0 - температура, к которой приводится объем воды и воздуха, К (принимается равной 293 К);
 ε - объемная доля воздуха в трубопроводе (при параметрах P_0 и T_0);
 Z_{cp} - среднее значение коэффициента сжимаемости воздуха в процессе испытаний.

2.2. Внутренний объем испытываемого участка трубопровода определяют из уравнения

$$V_{bh} = \frac{\pi D^2}{4} L, \quad (2)$$

где L - длина испытываемого участка трубопровода, м.

Этот объем несколько отличается от действительного объема трубопровода, поскольку его рассчитывают с применением номинального внутреннего диаметра трубы и проектной длины трубопровода. Однако это не приводит к существенной ошибке, поскольку по предлагаемой методике рассчитывают изменение объема, а не его абсолютное значение.

2.3. Для интервала давлений и температур, имеющих место при испытаниях магистральных трубопроводов, коэффициент сжимаемости воды C определяют из уравнения

$$C = [47,62 - 0,217 (T - 273)] \cdot 10^{-5}, \quad (3)$$

а коэффициент объемного расширения воды β - из уравнения

$$\beta = [-47,268 + 17,0105 (T - 273) - 0,20369 (T - 273)^2 + 0,0012 (T - 273)^3] \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где T – среднее значение температуры воды во время испытания трубопровода, К.

2.4. Для герметичного трубопровода изменение объема воды ΔV , определяемое по уравнению (1), должно быть равно нулю. Если $\Delta V > 0$, то имеется утечка в трубопроводе и значение ΔV определяет величину утечки V_{yt} в течение времени выдержки трубопровода под испытательным давлением.

Для стабилизированного по температуре трубопровода ($T_1 = T_2$) при отсутствии воздушных пробок величину утечки при снижении давления в нем из-за наличия дефекта определяют из уравнения

$$V_{yt} = V_{bh} \left[\frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) (P_1 - P_2) + C (P_1 - P_2) \right]. \quad (5)$$

2.5. При наличии воздушных пробок в трубопроводе величину утечки при снижении давления в нем из-за наличия дефекта определяют из уравнения

$$V_t = V_{bh} \left[\frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) (P_1 - P_2) + C (P_1 - P_2) + \epsilon Z_{cp} \frac{TP_a}{T_a} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 \cdot P_2} \right) \right]. \quad (6)$$

В уравнении (6) первое слагаемое обозначает долю утечки от деформации трубы при падении давления в ней от P_1 до P_2 , второе – долю утечки, обусловленную сжимаемостью воды, а третье – долю утечки, обусловленную расширением воздушной пробки от давления P_1 до P_2 .

При наличии воздушной пробки утечка воды из трубопровода сопровождается одновременным расширением воздуха при понижении его давления. В этом случае при одинаковом понижении давления напорной среды из трубопровода с воздушной пробкой вытекет большее количество воды, чем из трубопровода при отсутствии воздуха ($\epsilon = 0$), т.е. при одинаковом диаметре свища наличие воздушной пробки в трубопроводе увеличивает время падения давления в нем по сравнению с трубопроводом без воздуха за счет утечки дополнительного объема воды, обусловленного расши-

рением воздуха в результате снижения давления (рекомендуемое приложение I, примеры I,2).

3. ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ДИАМЕТР ДЕФЕКТА

3.1. В первом приближении дефект рассматривается как свищ с эквивалентным диаметром d_o . Эквивалентный диаметр дефекта определяют из уравнения

$$d_o = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \xi \sqrt{2} \frac{\rho_{cp}}{\rho}}}, \quad (7)$$

где Q - расход жидкости (воды) через отверстие, $\text{м}^3/\text{с}$;

ξ - коэффициент расхода;

$\rho_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2}$ - среднее давление напорной среды (воды),

при котором происходит истечение, Па;

ρ - плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

3.2. Расход воды через отверстие определяют из уравнения

$$Q = \frac{V_{ut}}{\tau}, \quad (8)$$

где V_{ut} - величина утечки, соответствующая определенному падению давления в трубопроводе (определяется из уравнений (I), (5), (6)), м^3 ;

τ - время падения давления, с.

3.3. При истечении воды уравнение (7) принимает следующий вид:

$$d_o = 6,78 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{\rho_{cp}}}}. \quad (9)$$

3.4. Время падения давления воды в трубопроводе от значения P_1 до P_2 в результате утечки через дефект с эквивалентным диаметром d_o определяют из уравнения

$$\tau = 45,86 \frac{V_{ut}}{d_o^2 \sqrt{\rho_{cp}}} \quad (10)$$

(см.рекомендуемое приложение I, пример 3).

4. СОДЕРЖАНИЕ ВОЗДУХА В ТРУБОПРОВОДЕ

4.1. Для определения объема воздушных пробок в испытываемом участке трубопровода сливают воду из трубопровода в объеме $\Delta V_{вод}$ в мерный сосуд. При этом снижение давления воды $\Delta P = P_1 - P_2$ должно быть в пределах 0,1 – 0,2 МПа. Падение давления необходимо измерять с точностью 0,01 МПа, а объемы воды – с точностью до 1 л.

4.2. Доля воздуха, находящегося в трубопроводе, определяют из уравнения

$$\varepsilon = \frac{V_\theta}{V_{\theta H}} = \frac{\frac{\Delta V_{вод}}{V_{\theta H}} \cdot \frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) (P_1 - P_2) - C (P_1 - P_2) + (\beta \cdot 2\alpha \cdot 2\alpha \mu) (T_2 - T_1)}{Z_{cp} \cdot \frac{P_0}{T_0} \left(\frac{T_2}{P_2} - \frac{T_1}{P_1} \right)}. \quad (II)$$

4.3. Для стабилизированного по температуре трубопровода ($T_1 = T_2 = T$) доля воздуха, находящегося в трубопроводе, определяют из уравнения

$$\varepsilon = \frac{V_\theta}{V_{\theta H}} = \frac{\frac{\Delta V_{вод}}{V_{\theta H}} \cdot \frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) (P_1 - P_2) - C (P_1 - P_2)}{Z_{cp} \cdot \frac{T \cdot P_0}{T_0} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 \cdot P_2} \right)} \quad (I2)$$

(см. рекомендуемое приложение I, пример 4).

5. ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

5.1. Изменение температуры трубопровода, заполненного водой, приводит как к изменению объема самого трубопровода, так и к изменению объема воды за счет теплового расширения (или сжатия) воды. Поэтому в замкнутом трубопроводе, заполненном водой под избыточным давлением, изменение температуры трубопровода приводит к изменению давления внутри трубы. Изменение давления напорной среды (воды) ΔP в испытываемом участке трубопровода, обусловленное влиянием изменения температуры, определяют из уравнения

$$\Delta P = \frac{[\beta - 2(1 + \mu)\alpha] (T_2 - T_1)}{\frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) + C}. \quad (I3)$$

Анализ уравнения (13) показывает, что при определенной температуре нагрев воды может привести как к повышению, так и к понижению давления в испытываемом участке трубопровода.

5.2. При температурах трубопровода $T_{tr} > 278$ К повышение температуры вызывает рост давления испытательной среды (воды). При температуре $T_{tr} < 278$ К повышение температуры трубопровода вызывает, наоборот, падение давления, что объясняется характером изменения коэффициента объемного расширения воды β . При понижении температуры трубопровода вышеуказанные изменения давления будут происходить с обратным знаком (см.рекомендуемое приложение I, пример 5).

6. ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ТРУБОПРОВОДА

6.1. Трубопровод следует считать стабилизированным по температуре, если суточное изменение давления воды в нем в процессе выдержки под испытательным давлением, обусловленное теплообменом трубопровода с грунтом, не превышает допустимой основной погрешности манометра, применяемого для измерения испытательного давления.

6.2. Продолжительность $T_{ст}$ температурной стабилизации трубопровода, отсчитываемую с момента заполнения его водой, определяют из уравнения

$$T_{ст} = T_o K_A K_d, \quad (14)$$

где T_o - продолжительность температурной стабилизации испытываемого участка трубопровода диаметром 273 мм (сут) при значении коэффициента теплопроводности грунта, равном 0,93 Вт/м·град (0,80 ккал/м·ч·град), и заданном суточном изменении давления, кПа;

K_A - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние теплопроводности грунта на испытываемом участке трассы на продолжительность температурной стабилизации;

K_d - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние диаметра трубопровода на продолжительность его температурной стабилизации.

6.3. Продолжительность температурной стабилизации T_0 участка трубопровода диаметром 273 мм следует определять из рис. I-4 по температуре грунта на глубине заложения трубопровода и температуре воды, закачиваемой в трубопровод при его заполнении.

6.4. Коэффициент K_λ для испытываемого участка трубопровода определяют по теплопроводности грунта на глубине заложения трубопровода (рис.5).

6.5. Если испытываемый участок трубопровода проложен в грунтах с различающимися значениями коэффициентов теплопроводности, то коэффициент K_λ определяют по минимальному из них

6.6. При отсутствии данных по теплопроводности грунта для испытываемых участков трассы коэффициент K_λ определяют по минимальному значению коэффициента теплопроводности для талого грунта с учетом его влажности в момент испытаний согласно СНиП II-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования".

6.7. Коэффициент K_d для испытываемого участка трубопровода определяют по отношению данного диаметра d к диаметру $d_0 = 273$ мм (рис.6).

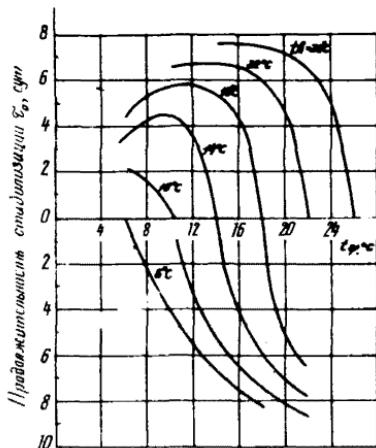


Рис.1. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода t_s , при коэффициенте теплопроводности грунта $\lambda = 0,93 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$ ($0,80 \text{ ккал}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$) и суточном изменении давления воды $\Delta p = 10 \text{ кПа}$ ($0,1 \text{ кгс}/\text{см}^2$)

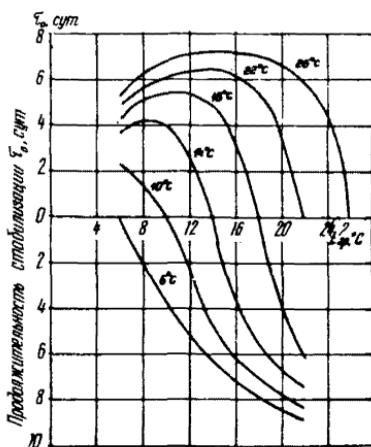


Рис.2. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта t_{gr} и закачиваемой воды t_s , при коэффициенте теплопроводности грунта $\lambda = 0,93 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$ ($0,80 \text{ ккал}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$) и суточном изменении давления воды $\Delta p = 20 \text{ кПа}$ ($0,2 \text{ кгс}/\text{см}^2$)

Рис.3. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта t_{gr} и закачиваемой воды t_b при коэффициенте теплопроводности грунта $\lambda = 0,93 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$ ($0,30 \text{ ккал}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$) и суточном изменении давления воды $\Delta p = 50 \text{ кПа}$ ($0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$)

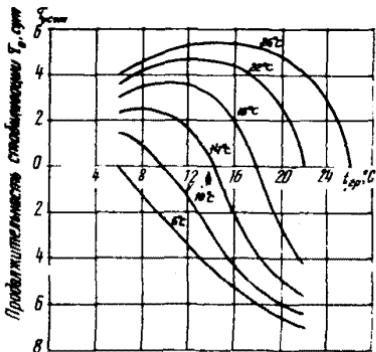
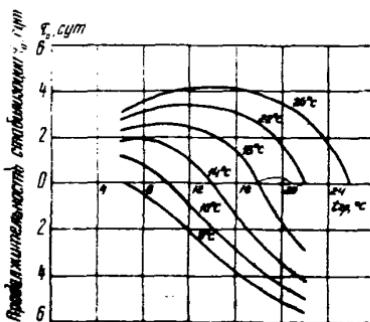


Рис.4. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта t_{gr} и закачиваемой воды t_b при коэффициенте теплопроводности грунта $\lambda = 0,95 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$ ($0,30 \text{ ккал}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$) и суточном изменении давления воды $\Delta p = 100 \text{ кПа}$ ($1 \text{ кгс}/\text{см}^2$)



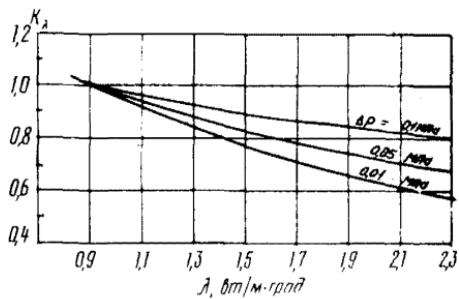


Рис.5. Зависимость коэффициента K_{λ} от коэффициента теплопроводности грунта
(ΔP - суточное изменение давления)

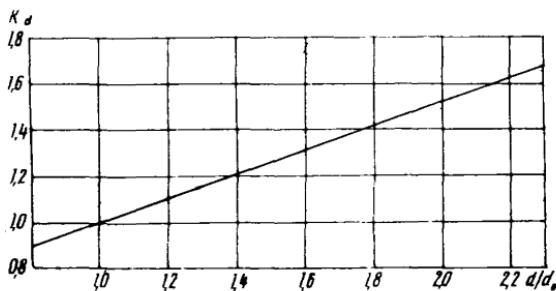


Рис.6. Зависимость коэффициента K_d от отношения диаметров d/d_o

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I
Рекомендуемое

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ.

Пример I. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ УТЕЧКИ ВОДЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ИСПЫТЫВАЕМОМ УЧАСТКЕ ТРУБОПРОВОДА

Исходные данные:

$D = 0,406$ м - внутренний диаметр трубопровода;

$L = 50 \cdot 10^3$ м - длина испытываемого участка;

$\delta = 1 \cdot 10^{-2}$ м - толщина стенки трубопровода;

$P_1 = 7,0$ МПа - давление воды в момент начала испытания;
 $P_2 = 6,7$ МПа - давление воды в момент окончания испытания;

$T_1 = 285$ К - среднее значение температуры воды на участке в момент начала испытания;

$T_2 = 287$ К - то же в момент окончания испытания;

$T = \frac{285 + 287}{2}$ - среднее значение температуры воды, К;

$\varepsilon = 0,03$ - доля воздуха, содержащегося в трубопроводе, приведенного к состоянию при $P_0 = 0,1$ МПа и $T_0 = 293$ К;

$E = 0,211 \cdot 10^6$ МПа - модуль упругости материала трубы;

$\mu = 0,3$ - коэффициент Пуассона;

$\alpha = 1,11 \cdot 10^{-5}$ 1/град - коэффициент линейного расширения материала трубы;

$Z_{cp} = 1$ - коэффициент сжимаемости воздуха.

Определяем из уравнения (2) внутренний объем испытываемого участка трубопровода

$$V_{bh} = \frac{\pi \cdot D^4}{4} \cdot L = 6469,8 \text{ м}^3.$$

Определяем из уравнения (3) коэффициент сжимаемости воды

$$C = [47,62 - 0,217 (286 - 273)] \cdot 10^{-5} = 44,8 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}.$$

Определяем из уравнения (4) коэффициент объемного расширения воды

$$\beta = [(-47,268 + 17,0105(286 - 273) - 0,20369(286-273)^2 + 0,0012(286 - 273)^3] \cdot 10^{-6} = 14,21 \cdot 10^{-5} \text{ 1/град.}$$

I.4. Определяем из уравнения (I) величину утечки

$$\begin{aligned} \Delta V &= 6469,8 \left[\frac{0,406}{0,2III \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}} \cdot (I-0,3^2) \cdot (7,0-6,7) + \right. \\ &+ 44,8 \cdot 10^{-5} (7,0 - 6,7) - (14,21 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot I,II \cdot 10^{-5} - \\ &- 2 \cdot I,II \cdot 10^{-5} \cdot 0,3) \cdot (285 - 287) + 0,03 \frac{0,1}{293} \frac{(287 - 285)}{6,7 - 7,0} \left. \right] = \\ &= 6469,8 (5,2530 + 13,4400 + 22,640 + 2,1729) \cdot 10^{-5} = \\ &= 6469,8 \cdot 43,5059 \cdot 10^{-5} = 2,8147 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Как видно из приведенного примера, при заданных исходных данных относительное влияние каждого из факторов на величину утечки составляет:

деформация трубы при понижении давления - 12,1%;

расширение воды при понижении давления - 30,9%;

расширение воды и трубы при повышении

температуры - 52,0%

расширение воздушной пробки при понижении

давления и повышении температуры - 5,0%

И Т О Г О ... 100%

**П р и м е р 2. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ УТЕЧКИ ВОДЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ В ИСПЫТЫВАЕМОМ УЧАСТКЕ ТРУБОПРОВОДА
(температура воды остается неизменной)**

Исходные данные:

$L = 50 \text{ км}$ - протяженность испытываемого участка;

$D = 0,406 \text{ м}$ - внутренний диаметр трубопровода;

$\delta = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ - толщина стенки трубопровода;

$P_1 = 7,0 \text{ МПа}$ - давление воды в момент начала испытания;

$P_2 = 6,7 \text{ МПа}$ - давление воды в момент окончания испытания;

$T = 286$ К - среднее значение температуры воды по длине испытываемого участка;

$\varepsilon = 0,03$ - доля воздуха (по объему), содержащегося в трубопроводе при $P_0 = 0,1$ МПа и $T_0 = 293$ К;

$E = 0,211 \cdot 10^6$ МПа - модуль упругости материала трубы;

$\mu = 0,3$ - коэффициент Пуассона;

$\alpha = 1,11 \cdot 10^{-5}$ 1/град - коэффициент линейного расширения материала трубы;

$Z_{cp} = 1$ - коэффициент сжимаемости воздуха;

$C = 44,8 \cdot 10^{-5}$ МПа - коэффициент сжимаемости воды.

Определяем из уравнения (2) внутренний объем испытываемого участка трубопровода

$$V_{BH} = \frac{3 \cdot 14 \cdot 0,406}{4} \cdot 50 \cdot 10^3 = 6469,8 \text{ м}^3.$$

Определяем из уравнения (6) величину утечки при заданном падении давления

$$\begin{aligned} V_{yt} &= 6469,8 \left[\frac{0,406}{0,211 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} \cdot (1-0,3^2) \cdot (7-6,7) + \right. \\ &+ 44,8 \cdot 10^{-5} (7,0 - 6,7) + 0,03, \frac{286 \cdot 0,1}{293} \cdot \left(\frac{7-6,7}{7 \cdot 6,7} \right) \Big] = \\ &= 6469,8 (5,2530 + 13,440 + 1,873) \cdot 10^{-5} = 6469,8 \cdot 20,566 \cdot 10^{-5} = \\ &= 1,331 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

При заданных исходных данных влияние каждого из факторов на величину утечки составляет:

деформация трубы при понижении давления	- 25,5%
расширение воды при понижении давления	- 65,4%
расширение воздушной пробки при понижении давления	- 9,1%
И Т О Г О ...	100%

Пример 3. РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДИАМЕТРА ДЕФЕКТА

Исходные данные:

$V_{yt} = 2,8147 \text{ м}^3$ - величина утечки;

$\tau = 3600 \cdot 24$ с - время выдержки под испытательным давлением;

$P_1 = 7,0$ МПа - давление воды в момент начала испытания;
 $P_2 = 6,7$ МПа - давление воды в момент окончания испытания;

Определяем из уравнения (8) расход воды

$$Q = \frac{2,8147}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 24} = 3,26 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Определяем среднее значение давления

$$P_{ср} = \frac{7,0 + 6,7}{2} = 6,85 \text{ МПа.}$$

Определяем из уравнения (9) величину эквивалентного диаметра

$$d_0 = 6,78 \sqrt{\frac{3,26 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{6,85 \cdot 10^6}}} = 7,57 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,76 \text{ мм.}$$

Пример 4. РАСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ВОЗДУХА В ТРУБОПРОВОДЕ

Исходные данные:

- $D = 0,406 \text{ м}$ - внутренний диаметр трубопровода;
- $L = 50 \cdot 10^3 \text{ м}$ - длина испытываемого участка трубопровода;
- $\Delta V_{слив} = 1,0 \text{ м}^3$ - объем слитой из трубопровода воды;
- $\delta = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ - толщина стенки трубопровода;
- $P_1 = 7,0$ МПа - начальное значение давления воды;
- $P_2 = 6,8$ МПа - конечное значение давления воды (в момент прекращения слива);
- $T = T_1 = T_2 = 286 \text{ К}$ - температура стабилизированного по температуре трубопровода;
- $E = 0,211 \cdot 10^6$ МПа - модуль упругости материала трубы.

Определяем из уравнения (2) внутренний объем испытываемого участка трубопровода

$$V_{вн} = \frac{3,14 \cdot 0,406^2}{4} \cdot 50 \cdot 10^3 = 6469,8 \text{ м}^3.$$

Определяем из уравнения (3) коэффициент сжимаемости воды

$$C = [47,62 - 0,217 (286 - 273)] \cdot 10^{-5} = 44,8 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}.$$

Определяем из уравнения (I2) долю воздуха

$$\varepsilon = \frac{\frac{1,0}{64\ 69,8} - \frac{0,406}{0,2II \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}} (1-0,3^2)(7,0-6,8)-44,8 \cdot 10^{-5}}{\frac{286 \cdot 0,1}{293} \left(\frac{7,0-6,8}{7,0-6,8} \right)} \cdot (7,0 - 6,8) = 0,072.$$

Пример 5. РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРУБОПРОВОДА

Исходные данные:

$T_1 = 285$ К - среднее значение температуры воды на участке в момент начала испытаний;

$T_2 = 287$ К - среднее значение температуры воды на участке в момент окончания испытаний;

$D = 0,406$ м - внутренний диаметр трубопровода;

$\delta = 1 \cdot 10^{-2}$ м - толщина стенки трубопровода;

$E = 0,2II \cdot 10^6$ МПа - модуль упругости материала трубы;

$\mu = 0,3$ - коэффициент Цуссона;

$\alpha = 1,II \cdot 10^{-5}$ 1/град - коэффициент линейного расширения материала трубы;

$\beta = 14,2I \cdot 10^{-5}$ 1/град - коэффициент объемного расширения воды;

$C = 44,8 \cdot 10^{-5}$ 1/град - коэффициент сжимаемости воды.

Определяем из уравнения (I3) изменение давления

$$\Delta P = \frac{[14,2I \cdot 10^{-5} - 2(1+0,3) \cdot 1,II \cdot 10^{-5}] (287 - 285)}{\frac{0,406}{0,2II \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}} (1 - 0,3^2) + 44,8 \cdot 10^{-5}} =$$

$$= \frac{[14,2I \cdot 10^{-5} - 2,886 \cdot 10^{-5}] \cdot 2}{17,5I \cdot 10^{-5} + 44,8 \cdot 10^{-5}} = 0,363 \text{ МПа.}$$

П р и м е р 6 . ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ИСПЫТЫВАЕМОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

Исходные данные:

$D = 0,325 \text{ м}$ - диаметр трубопровода;

$l = 40 \cdot 10^3 \text{ м}$ - длина испытываемого участка;

$\Delta P = 0,5 \text{ кгс/см}^2$ - допустимое суточное изменение давления;

$t_s = 12^\circ\text{C}$ - температура напорной среды (воды);

$t_{rp} = 6^\circ\text{C}$ - температура грунта на глубине залегания;

$\lambda = 1,8 \text{ ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot{}^\circ\text{C} = 2,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ - теплопроводность грунта.

Определяем по рис.3 продолжительность температурной стабилизации T_o для $d = 0,273 \text{ м}$ при значении $\lambda = 0,93 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ для заданных $t_s = 12^\circ\text{C}$, $t_{rp} = 6^\circ\text{C}$

$$\bar{T}_o = 2 \text{ сут.}$$

Определяем по рис.5 величину K_d для $\lambda = 2,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$

$$K_d = 0,7.$$

Определяем по рис.6 величину K_d' для $d = 0,325 \text{ м}$ при $d/d_a = 1,2$

$$K_d' = 1,1.$$

Определяем из уравнения (14) время температурной стабилизации

$$\bar{T}_{cr} = 2 \cdot 0,7 \cdot 1,1 = 1,5 \text{ сут.}$$

П р и м ер 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ИСПЫТЫВАЕМОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

Исходные данные:

$D = 0,219 \text{ м}$ - диаметр трубопровода;

$l = 50 \cdot 10^3 \text{ м}$ - длина испытываемого участка;

$t_s = 8^\circ\text{C}$ - температура напорной среды (воды);

$t_{rp} = 6^\circ\text{C}$ - температура грунта на глубине залегания;

$\Delta P = 0,2 \text{ кгс}/\text{см}^2$ – допустимое суточное изменение давления;
 $f_{cмп} = 1800 \text{ кгс}/\text{м}^3$ – объемный вес скелета грунта – супеси талой;

$W_c = 0,1$ (доли единицы) – суммарная влажность грунта.

Определяем согласно п.6.6 с использованием рекомендуемого приложения 2 коэффициент теплопроводности грунта λ

$$\lambda = 1,5 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град.}$$

Затем по рис.2 устанавливаем продолжительность температурной стабилизации t_o для $d' = 0,273 \text{ м}$ при $\lambda = 0,93 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$ для заданных $t_B = 8^\circ\text{C}$, $t_D = 6^\circ\text{C}$

$$t_o = 1 \text{ сут.}$$

Определяем по рис.5 для $\lambda = 1,5 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{град}$

$$K_1 = 0,8.$$

Определяем по рис.6 для $d' = 0,219 \text{ м}$ при $d/d_o = 0,8$

$$K = 0,9.$$

Определяем по уравнению (14) время температурной стабилизации

$$t_{cm} = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,7 \text{ сут.}$$

Приложение 2
Рекомендуемое

ЗНАЧЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТАЛЫХ И МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Объемный вес скелета грунта $\gamma_{ск.т.}$ $\text{тс}/\text{м}^3$	Суммарная влажность грунта W_c , доли единицы	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·град								
		Песок		Супесь		Суглинок и глина		Торф		
		λ_T	λ_H	λ_T	λ_H	λ_T	λ_m	λ_T	λ_m	
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	9	-	-	-	-	-	-	0,81	1,34	
0,1	6	-	-	-	-	-	-	0,41	0,70	
0,1	4	-	-	-	-	-	-	0,23	0,41	
0,1	2	-	-	-	-	-	-	0,12	0,23	
0,2	4	-	-	-	-	-	-	0,81	1,34	
0,2	2	-	-	-	-	-	-	0,23	0,52	
0,3	3	-	-	-	-	-	-	0,93	1,40	
0,3	2	-	-	-	-	-	-	0,41	0,70	
0,4	2	-	-	-	2,09	-	2,09	0,93	1,40	
0,7	1	-	-	-	2,09	-	2,03	-	-	
I,0	0,6	-	-	-	2,03	-	1,92	-	-	
I,2	0,4	-	-	-	I,92	I,57	I,80	-	-	
I,4	0,35	-	-	I,80	I,86	I,57	I,69	-	-	
I,4	0,3	-	-	I,74	I,80	I,45	I,57	-	-	
I,4	0,25	I,92	2,15	I,57	I,69	I,34	I,51	-	-	

Окончание приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,4	0,2	1,57	1,86	1,34	1,51	1,10	1,22	-	-
1,4	0,15	1,40	1,63	1,10	1,28	0,87	0,99	-	-
1,4	0,1	1,10	1,28	0,93	1,05	0,70	0,76	-	-
1,4	0,05	0,76	0,81	0,64	0,70	0,47	0,52	-	-
1,6	0,3	-	-	1,86	1,98	1,69	1,80	-	-
1,6	0,25	2,50	2,73	1,80	1,92	1,51	1,69	-	-
1,6	0,2	2,15	2,38	1,63	1,74	1,34	1,51	-	-
1,6	0,15	1,80	2,03	1,45	1,57	1,10	1,22	-	-
1,6	0,1	1,45	1,63	1,16	1,28	0,87	0,93	-	-
1,6	0,05	1,05	1,10	0,81	0,87	0,58	0,64	-	-
1,8	0,2	2,67	2,85	1,86	1,98	1,57	1,80	-	-
1,8	0,15	2,27	2,62	1,69	1,80	1,40	1,57	-	-
1,8	0,1	1,98	2,21	1,45	1,57	1,05	1,22	-	-
1,8	0,05	1,45	1,51	0,99	0,99	0,70	0,76	-	-
2,0	0,1	2,73	2,91	1,74	1,86	1,28	1,40	-	-
2,0	0,05	2,09	2,15	-	-	-	-	-	-

Принятые обозначения: λ_t , λ_m - коэффициент теплопроводности соответственно талого и мерзлого грунта; $\rho_{sk,t}$, $\rho_{sk,m}$ - объемный вес скелета грунта соответственно в талом и мерзлом состоянии.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Изменение объема воды при изменении давления и температуры в трубопроводе	3
3. Эквивалентный диаметр дефекта	6
4. Содержание воздуха в трубопроводе	7
5. Изменение давления воды в зависимости от температуры	7
6. Температурная стабилизация трубопровода	8
Приложения	13

Рекомендации
по методике расчета параметров
гидравлических испытаний магистральных
продуктопроводов на герметичность

Р 586-85

Издание ВНИИСта

Редактор И.Р.Беляева
Корректор С.П.Михайлова
Технический редактор Т.Л.Датнова

Подписано в печать 28/IV 1986 г.	Формат 60x84/16
Печ.л. 1,5	Уч.-изд.л. 1,3
Тираж 1000 экз.	Цена 13 коп.

Ротапринт ВНИИСта