

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 гидротестированиях магистральных продуктопроводов.

Рекомендации разработали сотрудники лаборатории строительства специальных трубопроводов Киевского филиала ВНИИСТ: кандидаты техн. наук В.И. Козицкий, Е.И. Корильный, А.А. Свердлов; инженеры А.И. Вадеева, Н.В. Тус, А.М. Хачини.

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Рекомендации по методике расчета параметров гидравлических испытаний магистральных продуктопроводов на герметичность	Р 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  $\Delta V$  в испытываемом гидравлически заглубленном трубопроводе при изменении давления и температуры определяют из уравнения

$$\Delta V = V_{вн} \left[ \frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) (P_1 - P_2) + C (P_1 - P_2) - (\beta - 2\alpha - 2\alpha\mu)(T_1 - T_2) + \varepsilon Z_{ср} \frac{P_0}{T_0} \left( \frac{T_2}{P_2} - \frac{T_1}{P_1} \right) \right] \quad (I)$$

где  $V_{вн}$  - внутренний объем испытываемого участка, м<sup>3</sup>,  
 $D$  - внутренний диаметр трубопровода, м

Внесены КФ ВНИИСТА	Утверждены КФ ВНИИСТА 20 октября 1986 г.	Срок введения в действие 1 июля 1986 г.
--------------------	--	---

- $E$  - модуль упругости материала трубы, МПа;  
 $\delta$  - толщина стенки трубы, м;  
 $\mu$  - коэффициент Пуассона;  
 $P_1$  и  $P_2$  - давление напорной среды (воды), соответствующее началу и концу испытания, МПа;  
 $C$  - коэффициент сжимаемости воды, 1/МПа;  
 $\beta$  - коэффициент объемного расширения воды, 1/град;  
 $\alpha$  - 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);  
 $\varepsilon$  - объемная доля воздуха в трубопроводе (при параметрах  $P_0$  и  $T_0$ );  
 $\bar{Z}_{ср}$  - среднее значение коэффициента сжимаемости воздуха в процессе испытаний.

2.2. Внутренний объем испытываемого участка трубопровода определяют из уравнения

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

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  $\beta$  - 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  $\Delta V$ , определяемое по уравнению (1), должно быть равно нулю. Если  $\Delta V > 0$ , то имеется утечка в трубопроводе и значение  $\Delta V$  определяет величину утечки  $V_{ут}$  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

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

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

$$V_{ут} = V_{вн} \left[ \frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) (P_1 - P_2) + C (P_1 - P_2) + \varepsilon Z_{ср} \frac{TP_a}{T_0} \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1 \cdot P_2} \right) \right]. \quad (6)$$

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 вытечет большее количество воды, чем из трубопровода при отсутствии воздуха ( $\varepsilon = 0$ ), 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 1,2).

### 3. ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ДИАМЕТР ДЕФЕКТА

3.1. В первом приближении дефект рассматривается как свищ с эквивалентным диаметром  $d_0$ . Эквивалентный диаметр дефекта определяют из уравнения

$$d_0 = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \xi \sqrt{2 \frac{P_{cp}}{\rho}}}}, \quad (7)$$

где  $Q$  - расход жидкости (воды) через отверстие, м<sup>3</sup>/с;  
 $\xi$  - коэффициент расхода;

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

при котором происходит истечение, Па;

$\rho$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

3.2. Расход воды через отверстие определяют из уравнения

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

где  $V_{ут}$  - величина утечки, соответствующая определенному падению давления в трубопроводе (определяется из уравнений (1), (5), (6)), м<sup>3</sup>;

$\tau$  - время падения давления, с.

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

$$d_0 = 6,78 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{P_{cp}}}}. \quad (9)$$

3.4. Время падения давления воды в трубопроводе от значения  $P_1$  до  $P_2$  в результате утечки через дефект с эквивалентным диаметром  $d_0$  определяют из уравнения

$$\tau = 45,86 \frac{V_{ут}}{d_0^2 \sqrt{P_{cp}}} \quad (10)$$

(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. Долю воздуха, находящегося в трубопроводе, определяют из уравнения

$$\varepsilon = \frac{V_{\delta}}{V_{\delta H}} = \frac{\frac{\Delta V_{вод}}{V_{\delta H}} \cdot \frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2)(P_1 - P_2) - C(P_1 - P_2) + (\beta - 2\alpha - 2\alpha\mu)(T_1 - T_2)}{Z_{cp} \cdot \frac{P_0}{T_0} \left( \frac{T_2}{P_2} - \frac{T_1}{P_1} \right)} \quad (11)$$

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

$$\varepsilon = \frac{V_{\delta}}{V_{\delta H}} = \frac{\frac{\Delta V_{вод}}{V_{\delta H}} - \frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2)(P_1 - P_2) - C(P_1 - P_2)}{Z_{cp} \cdot \frac{T \cdot P_0}{T_0} \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1 \cdot P_2} \right)} \quad (12)$$

(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 труб. Изменение давления напорной среды (воды)  $\Delta P$  в испытываемом участке трубопровода, обусловленное влиянием изменения температуры, определяют из уравнения

$$\Delta P = \frac{[\beta - 2(1 + \mu)\alpha](T_2 - T_1)}{\frac{D}{E \cdot \delta} (1 - \mu^2) + C} \quad (13)$$

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  $T_{тр} > 278$  К повышение температуры вызывает рост давления испытательной среды (воды). При температуре  $T_{тр} < 278$  К повышение температуры трубопровода вызывает, наоборот, падение давления, что объясняется характером изменения коэффициента объемного расширения воды  $\beta$ . 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  $\tau_{см}$  температурной стабилизации трубопровода, отсчитываемую с момента заполнения его водой, определяют из уравнения

$$\tau_{см} = \tau_0 K_A K_d, \quad (14)$$

где  $\tau_0$  - 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  $\tau_p$  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  $K_d$  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  $K_d$  определяют по минимальному из них

6.6. При отсутствии данных по теплопроводности грунта для испытываемых участков трассы коэффициент  $K_d$  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).

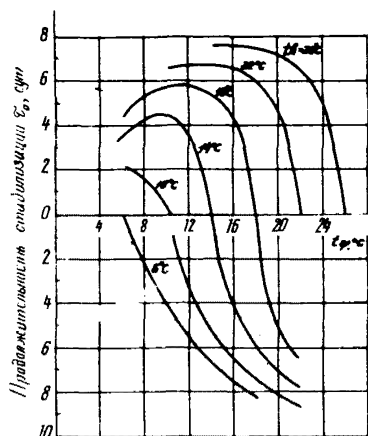


Рис.1. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта  $t_{гр}$  и закачиваемой воды  $t_в$  при коэффициенте теплопроводности грунта  $\lambda = 0,93$  Вт/м·град ( $0,80$  ккал/м·ч·град) и суточном изменении давления воды  $\Delta p = 10$  кПа ( $0,1$  кгс/см $^2$ )

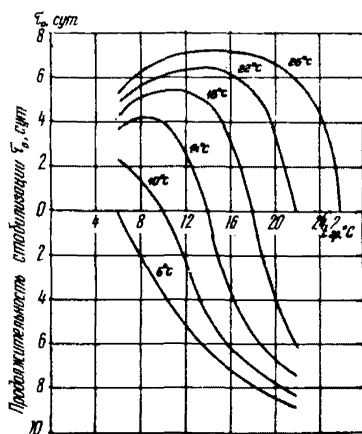


Рис.2. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта  $t_{гр}$  и закачиваемой воды  $t_в$  при коэффициенте теплопроводности грунта  $\lambda = 0,93$  Вт/м·град ( $0,80$  ккал/м·ч·град) и суточном изменении давления воды  $\Delta p = 20$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

Рис.3. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта  $t_{gr}$  и закачиваемой воды  $t_w$  при коэффициенте теплопроводности грунта  $\lambda = 0,93$  Вт/м·град (0,80 ккал/м·ч·град) и суточном изменении давления воды  $\Delta p = 50$  кПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>)

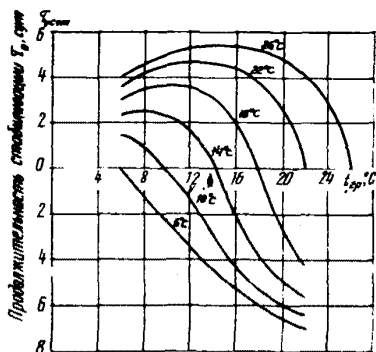
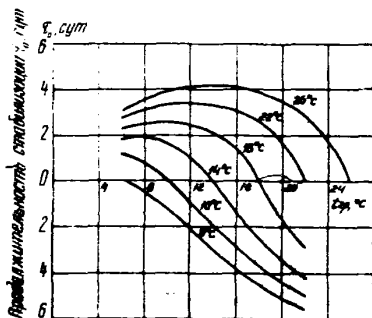


Рис.4. Зависимость продолжительности температурной стабилизации трубопровода диаметром 273 мм от температур грунта  $t_{gr}$  и закачиваемой воды  $t_w$  при коэффициенте теплопроводности грунта  $\lambda = 0,93$  Вт/м·град (0,80 ккал/м·ч·град) и суточном изменении давления воды  $\Delta p = 100$  кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>)



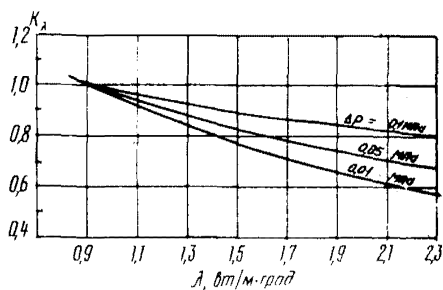


Рис.5. Зависимость коэффициента  $K_\lambda$  от коэффициента теплопроводности грунта ( $\Delta P$  - суточное изменение давления)

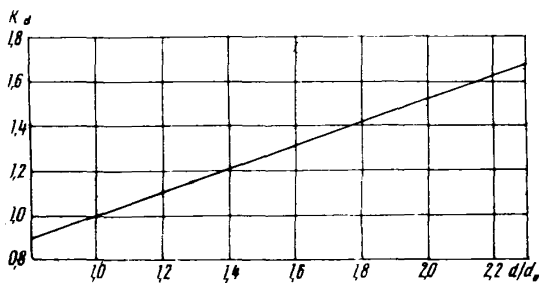


Рис.6. Зависимость коэффициента  $K_d$  от отношения диаметров  $d/d_0$

## П Р И Л О Ж Е Н И Я

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

П р и м е р 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

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

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 (4) коэффициент объемного расширения воды

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

1.4. Определяем из уравнения (1) величину утечки

$$\begin{aligned} \Delta V &= 6469,8 \left[ \frac{0,406}{0,211 \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}} \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (7,0 - 6,7) + \right. \\ &+ 44,8 \cdot 10^{-5} (7,0 - 6,7) - (14,21 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 1,11 \cdot 10^{-5} - \\ &- 2 \cdot 1,11 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3) \cdot (285 - 287) + 0,03 \frac{0,1}{293} \left( \frac{287}{6,7} - \frac{285}{7,0} \right) \left. \right] = \\ &= 6469,8 (5,2530 + 13,4400 + 22,640 + 2,1729) \cdot 10^{-5} = \\ &= 6469,8 \cdot 43,5059 \cdot 10^{-5} = 2,8147 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

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%

**Пример 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;

$T = 286 \text{ K}$  - среднее значение температуры воды по длине испытываемого участка;

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

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

$\mu = 0,3$  - коэффициент Пуассона;

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

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

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

Определяем из уравнения (2) внутренний объем испытываемого участка трубопровода

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

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

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

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%
<hr/>	
И Т О Г О ...	100%

### П р и м е р 3. РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДИАМЕТРА ДЕФЕКТА

Исходные данные:

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

$T = 3600 \cdot 24 \text{ с}$  - 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

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

Определяем среднее значение давления

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

Определяем из уравнения (9) величину эквивалентного диаметра

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

#### П р и м е р 4. РАСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ВОЗДУХА В ТРУБОПРОВОДЕ

Исходные данные:

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

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

$\Delta V_{\text{св}} = 1,0 \text{ м}^3$  - объем слитой из трубопровода воды;

$\delta = 1 \cdot 10^{-2}$  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);

$T = T_1 = T_2 = 286$  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

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

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 (12) долю воздуха

$$\varepsilon = \frac{\frac{1,0}{64 \cdot 69,8} - \frac{0,406}{0,211 \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}} (1-0,3^2) (7,0-6,8) - 44,8 \cdot 10^{-5}}{\frac{286 \cdot 0,1}{293} \left( \frac{7,0-6,8}{7,0 \cdot 6,8} \right)} \cdot (7,0 - 6,8) = 0,072.$$

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

Исходные данные:

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

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

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

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

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

$\mu = 0,3$  - коэффициент Пуассона;

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

$\beta = 14,21 \cdot 10^{-5} \text{ 1/град}$  - коэффициент объемного расширения воды;

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

Определяем из уравнения (13) изменение давления

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{[14,21 \cdot 10^{-5} - 2(1+0,3) \cdot 1,11 \cdot 10^{-5}] (287 - 285)}{\frac{0,406}{0,211 \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}} (1 - 0,3^2) + 44,8 \cdot 10^{-5}} = \\ &= \frac{[14,21 \cdot 10^{-5} - 2,886 \cdot 10^{-5}] \cdot 2}{17,51 \cdot 10^{-5} + 44,8 \cdot 10^{-5}} = 0,363 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

### Пример 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ИСПЫТЫВАЕМОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

Исходные данные:

$D = 0,325$  м - диаметр трубопровода;

$L = 40 \cdot 10^3$  м - длина испытываемого участка;

$\Delta p = 0,5$  кгс/см<sup>2</sup> - допустимое суточное изменение давления;

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

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

$\lambda = 1,8$  ккал/м·ч·°C = 2,2 Вт/м·град - теплопроводность грунта.

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

$$\tau_o = 2 \text{ сут.}$$

Определяем по рис.5 величину  $K_\lambda$  для  $\lambda = 2,2$  Вт/м·град

$$K_\lambda = 0,7.$$

Определяем по рис.6 величину  $K_d$  для  $d' = 0,325$  м при  $d/d_o = 1,2$

$$K_d = 1,1.$$

Определяем из уравнения (14) время температурной стабилизации

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

### Пример 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ИСПЫТЫВАЕМОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

Исходные данные:

$D = 0,219$  м - диаметр трубопровода;

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

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

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

$\Delta p = 0,2 \text{ кгс/см}^2$  - допустимое суточное изменение давления;  
 $\gamma_{скт} = 1800 \text{ кгс/м}^3$  - 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  $\lambda$

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

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

$$t_o = 1 \text{ сут.}$$

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

$$K_\lambda = 0,8.$$

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

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

## ЗНАЧЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТАЛЫХ И МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Объемный вес скелета грунта $\rho_{ск.т.}$ $\rho_{ск.м.}$ , тс/м <sup>3</sup>	Суммарная влажность грунта $W_{сн}$  доли единицы	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·град							
		Песок		Супесь		Суглинок и глина		Торф	
		$\lambda_T$	$\lambda_H$	$\lambda_T$	$\lambda_H$	$\lambda_T$	$\lambda_m$	$\lambda_T$	$\lambda_m$
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	-	-
1,0	0,6	-	-	-	2,03	-	1,92	-	-
1,2	0,4	-	-	-	1,92	1,57	1,80	-	-
1,4	0,35	-	-	1,80	1,86	1,57	1,69	-	-
1,4	0,3	-	-	1,74	1,80	1,45	1,57	-	-
1,4	0,25	1,92	2,15	1,57	1,69	1,34	1,51	-	-

## 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:  $\lambda$ ,  $\lambda_m$  - коэффициент теплопроводности соответственно талого и мерзлого грунта;  $\gamma_{ск.т}$ ,  $\gamma_{ск.м}$  - 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 БНИИСТА

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

---

Подписано в печать 28/IV 1986 г.	формат 60х84/16	
Печ.л. 1,5	Уч.-над.л. 1,3	Бум.л. 0,75
Тираж 1000 экз.	Цена 13 коп.	Заказ 52

---

Ротапринт БНИИСТА