

# Практическое занятие № 3

**Тема: РАСЧЕТ  
НЕФТЕПРОВОДА НА  
ПРОЧНОСТЬ И  
УСТОЙЧИВОСТЬ.  
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ**

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

1.2. Вычисляются кольцевые напряжения от расчетного внутреннего давления

$$\sigma_{кц} = \frac{n_p \cdot P \cdot D_{вн}}{2\delta}, \text{ МПа} \quad (16)$$

Для предотвращения недопустимых деформаций подводных трубопроводов проверку необходимо производить по условиям:

$$|\sigma_{нц}^н| \leq \psi_3 \cdot \frac{m}{0.9 \cdot k_n} \cdot R_2^н \quad (17)$$

$$\sigma_{нц}^н \leq \frac{m}{0.9 \cdot k_n} \cdot R_2^н \quad (18)$$

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

где  $R_2^H$  - нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла труб и сварных соединений, ;

$\psi_3$  - коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб; при растягивающих продольных напряжениях ( ), принимаемый равным единице; при сжимающих ( ) – определяемый по формуле:

$$(19) \quad \psi_3 = \sqrt{1 - 0.75 \cdot \left( \frac{\sigma_{кц}^H}{\frac{m}{0.9 \cdot k_H} \cdot R_2^H} \right)^2} - 0.5 \frac{\sigma_{кц}^H}{\frac{m}{0.9 \cdot k_H} \cdot R_2^H}$$

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

где  $\sigma_{кц}^н$  - кольцевые напряжения от нормативного (рабочего) давления;

$\sigma_{нр}^н$  - максимальные суммарные продольные напряжения.

$$\sigma_{кц}^н = \frac{P \cdot D_{вн}}{2 \cdot \delta_n} \quad (20)$$

$$\sigma_{нр}^н = \mu \cdot \sigma_{кц}^н + \alpha \cdot E \cdot \Delta T + \frac{E \cdot D_n}{2 \cdot \rho} \quad (21)$$

где  $\rho$  - минимальный радиус упругого изгиба оси трубопровода (в первом приближении можно принять  $\rho \geq 900 D_n$ ).

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

Выполняется проверка по формулам (17), (18).

Если условия не выполняются, необходимо увеличить минимальный радиус упругого изгиба оси трубопровода.

Выполнив расчеты на прочность и устойчивость нефтепровода, результаты следует оформить в таблицу.

$\sigma_{кц}$ , МПа	$\sigma_{нрN}$ , МПа	$\delta_G$ мм	$\delta$ мм	$\sigma_{кц}^H$ МПа	$\sigma_{нр}^H$ МПа	Выводы

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

## *Пример расчета.*

*Исходные данные:*

- $P=5,3$  МПа;
- $D_H = 1220$  мм;
- $D_{\text{вн}} = 1184$  мм;
- $\delta_H = 18$  мм;
- $m=0,9$ ;
- $k_H = 1,05$

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

*Вычисляем кольцевые напряжения от расчетного внутреннего давления по формуле (16):*

$$\sigma_{кц} = \frac{n_p \cdot P \cdot D_{вн}}{2\delta} = \frac{1,15 \times 5,3 \times 1184}{2 \times 18} = 200,46 \text{ МПа}$$

*Вычисляем кольцевые напряжения от нормативного (рабочего) давления по формуле (20):*

$$\sigma_{кц}^н = \frac{P \cdot D_{вн}}{2 \cdot \delta_n} = \frac{5,3 \cdot 1184}{2 \cdot 18} = 174,3 \text{ МПа}$$

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

*Вычисляем максимальные суммарные продольные напряжения от нормативных нагрузок и воздействий по формуле (21):*

$$\begin{aligned}\sigma_{np}^н &= \mu \cdot \sigma_{кц}^н + \alpha \cdot E \cdot \Delta T + \frac{E \cdot D_{н}}{2 \cdot \rho} = \\ &= 0.3 \cdot 174,3 + 0.000012 \cdot 206000 \cdot 78,9 + \frac{206000 \cdot 1220}{2 \cdot 900 \cdot 1220} = 361,7 \text{ МПа}\end{aligned}$$



# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

Так как  $\sigma_{np}^H = 361,7 \text{ МПа} > 0$ , то  $\psi_3 = 1$ , тогда, согласно формулам (17) и (18), имеем:

$$1 \cdot \frac{0,9}{0,9 \cdot 1,05} \cdot 359 = 342$$

$$\sigma_{np}^H = 361,7 \text{ МПа} > 342 \text{ МПа}$$

Так как условие не выполняется, принимаем

Тогда

$$\sigma_{np}^H = 0,3 \cdot 174,3 + 0,000012 \cdot 206000 \cdot 78,9 + \frac{206000 \cdot 1220}{2 \cdot 1100 \cdot 1220} = 341 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{np}^H = 341 \text{ МПа} < 342 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,9}{0,9 \cdot 1,05} \cdot 359 = 342$$

$$\sigma_{кц}^H = 174,3 \text{ МПа} < 342 \text{ МПа}$$

# 1. Определение толщины стенки трубопровода с учетом условий прочности и устойчивости к смятию

$\sigma_{кц}$ , МПа	$\sigma_{прN}$ , МПа	$\delta_{Г}$ мм	$\delta$ мм	$\sigma_{кц}^H$ МПа	$\sigma_{пр}^H$ МПа	Выводы
200,46	-117,20	11,8	18,0	174,30	341,00	Условия для предотвращения недопустимых деформаций подводного трубопровода выполняются

## 2. Гидравлический расчёт трубопровода

Потерю напора на преодоление трения по длине трубопровода круглого сечения при установившемся течении определяют по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$h_{mp} = \lambda \cdot L \cdot w^2 / 2gD , \quad (22)$$

где  $L$  – длина трубопровода, м;

$D$  – внутренний диаметр трубопровода, м;

$w$  – средняя скорость течения жидкости м/с;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления, зависящий от режима движения жидкости, относительной шероховатости внутренней стенки трубы, т. е.  $\lambda = f(Re, \varepsilon)$ ,

$\varepsilon$  - абсолютная шероховатость стенок трубы, см.

## 2. Гидравлический расчёт трубопровода

Определяем среднюю скорость движения нефти по трубопроводу:

$$w = \frac{4Q_c}{\pi D_{\text{в}}^2}, \text{ м/с} \quad (23)$$

Определяем режим течения жидкости:

$$\text{Re} = \frac{w D_{\text{вн}}}{\nu} = \frac{4Q_c}{\pi D_{\text{вн}} \nu} \quad (24)$$

По табл. 9 определяем режим течения жидкости.

## 2. Гидравлический расчёт трубопровода

Таблица 9

Определение коэффициента гидравлического трения

Режим движения		Число Рейнольдса	Определение $\lambda$
Ламинарный		$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$ или $\lambda = \frac{75}{Re}$
Переходный		$2300 < Re < 4000$	<i>Проектирование трубопроводов не рекомендуется</i>
Турбулентный	1-я область	$4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_r = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (ф-ла Блазиуса) $\lambda_r = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}$ (ф-ла Конакова)
	2-я область	$10 \frac{d}{\Delta_s} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_r = 0,11 \left( \frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля)
	3-я область	$Re > 560 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_r = 0,11 \left( \frac{\Delta_s}{d} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля) $\frac{1}{\sqrt{\lambda_r}} = -2 \lg \left( \frac{\Delta_s}{3,71d} \right)$ (ф-ла Никурадзе)

## 2. Гидравлический расчёт трубопровода

### Определяем зону трения

Рассчитываем шероховатость трубы по формуле:

$$\varepsilon = \frac{k_{\varepsilon}}{D_{вн}} \quad , \quad (25)$$

где  $k_{\varepsilon}$  принимается по табл. 10.

Первое переходное число  $Re_I$  :

$$Re_I = \frac{10}{\varepsilon} \quad (26)$$

Второе переходное число  $Re_{II}$  :

$$Re_{II} = \frac{560}{\varepsilon} \quad (27)$$

## 2.2. Гидравлический расчёт трубопровода

Определяем зону течения нефти (табл. 9).

Вычисляем коэффициент гидравлического сопротивления.

При условии попадания  $Re$  в 1 область турбулентного движения жидкости расчет производят по формуле

Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (28)$$

Определяем гидравлический уклон в нефтепроводе по формуле:

$$i = \frac{\lambda W}{D_{вн} 2g} \quad (29)$$

Потери на трение всего нефтепровода:

$$h_{тр} = iL, \text{ м} \quad (30)$$