МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ВНИИСТ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

РАСЧЕТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПО ТЕОРИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОСТОГО НАГРУЖЕНИЯ

Р 359-79

Москва 1980

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.011:539.4

В Основных положениях изложена теория предельных процессов простого нагружения магистральных трубопроводов. Эта теория базируется на постулате А.А.Ильюшина о функциональной зависимости между тензорами повреждений и напряжений с учетом главных тенденций в развитии теорий прочности при переменном нагружении.

Приведены соотношения для определения основных размеров элементов трубопроводов при заданном сроке их службы или долговечности элементов при заданной их геометрии в наиболее общих случаях механического и теплового нагружений.

Положения разработаны лабораторией методов расчета и конструирования трубопроводов под руководством канд.техн.наук И.Д.Красулина и предназначены для научно-исследовательских и проектных организаций по строительству.

Положения составили канд.физ.-мат.наук Б.И.Завойчинский и ст.инж.Л.А.Соловьева.

Замечания и предложения просим направлять по адресу: Москва, 105058, Окружной проезд, 19, ВНИИСТ.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1980

ВВЕДЕНИЕ

Нормы проектирования трубопроводов регламентируют величину основных геометрических размеров элементов трубопровода (труб, компенсаторов, соединительных деталей, балластировочных устройств) по значению рабочего давления, температурных перепадов в системе, категории участков прокладки и т.п., определяющих прочность и металлоемкость конструкций. Раздел 8 СНиП П-45-75 "Расчет трубопроводов на прочность и устойчивость" для ряда случаев не позволяет однозначно выбрать размеры элементов. Это связано с тем, что толщина стенки трубопровода по формулам (I3), (I4) СНиП П-45-75 зависит от осевых напряжений, величину которых для некоторых конструкций определить однозначно не удается.

Первая часть неравенства (I5) СНиП П-45-75 скачкообразно изменяется на величину $1-\phi_2$ при $\sigma_{пр.N}=0$. Этот скачок является только следствием выбранной аппроксимации.

Соотношение (20) СНиП П-45-75 является неточным, так как не налагает ограничений на отрицательные продольные напряжения, хотя эта проверка и введена для их ограничения.

Кроме этого, отсутствует ответ на основной вопрос - о долговечности трубопроводов, запроектированных в соответствии с этим документом.

Таким образом, методика расчета трубопроводов на прочность, изложенная в СНиП П-45-75, предполагает ее дальнейшее совершенствование.

Внедрены лабораторией методов расчета и конструирования трубопроводов	Утверждены ВНИИСТом I7 июля I979 г.	Разработаны впервые

Разработанный метод расчета на прочность элементов трубопроводов позволяет оценить опасность наиболее общих видов их механического и теплового нагружений. Этот метод базируется на теории предельных процессов нагружения, являющейся развитием постулата А.А.Ильюшина о существовании функциональной зависимости между тензорами повреждений и напряжений.

Результаты теории предельных процессов простого нагружения согласуются с данными экспериментов по циклической прочности элементов при асимметричном одноосном нагружении (от гармонического нагружения вплоть до нагружения в условиях ползучести) и одновременном изгибе с кручением.

Выбор основных механических параметров критерия прочности при переменном нагружении проведен на основе обобщения и систематизации экспериментальных данных по циклической прочности сварных соединений, опубликованных в литературе (см.список рекомендуемой литературы).

Уточненный подход к решению задачи о напряженно-деформированном состоянии и прочности труб позволил сделать вывод о том, что при выборе толщины стенки трубы не следует учитывать компоненту напряженно-деформированного состояния вдоль оси в случае, если удвоенное осевое "температурное напряжение" $2\alpha|T|E_i$ меньше расчетного сопротивления R_i (п.3.2).

Расчет показывает, что толщина стенки труб магистральных трубопроводов практически не зависит от температуры замыкания участков при их строительстве (в предположении, что температура транспортируемого продукта не превышает 65°С).

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Рассматривается простое нагружение основных элементов трубопроводов, математически описываемое функциями ограниченной вариации в таком виде:

$$\sigma_i^* = \sigma_i \cdot f(t) \qquad (i = 1,2), \tag{I}$$

где

$$f(t) = \pm f_0 + \sum_{k=1}^{k_1} f_k \sin(w_k t + \varphi_k); \tag{2}$$

σ_1 и σ_2 – максимальные значения главных напряжений соответственно.

I.2. Максимальные значения главных напряжений определяются по формулам:

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) + \frac{1}{2}\sqrt{(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_2)^2 + 4\bar{\tau}^2}\ ;$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) - \frac{1}{2}\sqrt{(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_2)^2 + 4\bar{\tau}^2}\ ,$$

где $\bar{\sigma}_1$, $\bar{\sigma}_2$ - максимальные значения кольцевых и осевых номинальных напряжений соответственно;

$\bar{\tau}$ - максимальные значения касательных напряжений самокомпенсации.

Под номинальными напряжениями понимается сумма общих мембранных и общих изгибных напряжений в элементах трубопровода. При этом общие мембранные напряжения равны среднему по сечению значению нормальных напряжений. Общие изгибные напряжения не являются самоуравновешенными по сечению элемента и определяют величину общего изгибающего момента при равенстве нулю общей силы.

I.3. Нагрузки и воздействия на элементы трубопровода в процессе его монтажа и эксплуатации следует принимать согласно главам СНиП П-6-74 "Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия" и СНиП П-45-75 "Нормы проектирования. Магистральные трубопроводы".

2. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ТЕОРИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НАГРУЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

2.I. Предельное нагружение элементов трубопровода описывается следующими соотношениями:

при $|\sigma_1| \geq |\sigma_2|$

$$|\sigma_1| \cdot F(\alpha, \beta) = R_i(t), \quad \alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad \sigma_1 \neq 0; \tag{3}$$

при $|\sigma_1| \leq |\sigma_2|$

$$|\sigma_2| F(\alpha, \beta) = R_i(t), \quad \alpha = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \quad \sigma_2 \neq 0 \quad \langle i = 1,2 \rangle,$$

где

$$F(\alpha,\beta) = \frac{F_1(\alpha)}{F_2(\alpha,\beta)}, \quad F_1(\alpha) = (1-\alpha^2)n^2 + \alpha^2; \tag{4}$$

$$F_2(\alpha,\beta) = \left\{\left[(\beta-1)\frac{1+\alpha}{3} + n^2 + \alpha(1-n^2)\right]^2 + \frac{(\beta+2)^2}{27}(1-\alpha)^2 n^2 (1-n^2)\right\}^{1/2} \frac{3}{2+\beta};$$

$n^2 = \sqrt{25/16 - \alpha^2} - 1/4$;

$R_1(t)$, $R_2(t)$ - расчетные сопротивления по несущей способности и достижению поверхности текучести при переменном нагружении соответственно.

Коэффициент β характеризует отношение прочности стали при одноосном и двухосном переменном нагружении и равен

$$\beta = \frac{2\sigma^*_{-1} - \sigma_{-1}}{2\sigma_{-1} - \sigma^*_{-1}},$$

где σ_{-1} , σ^*_{-1} - прочность при одноосном и двухосном гармоническом нагружении соответственно.

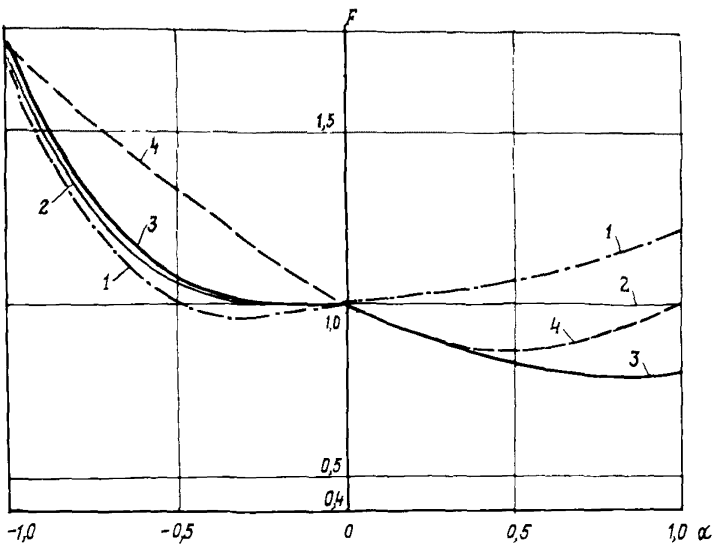


Рис.I. Зависимость $F = F(\alpha, \beta)$:
Кривые I,2 и 3 соответствуют следующим значениям β : I,75 ($\sigma^*_{-1} = I,2\ \sigma_{-1}$) ; I,0 ($\sigma^*_{-1} = \sigma_{-1}$); 0,57 ($\sigma_{-1} = I,2\ \sigma^*_{-1}$) . Кривая 4 показывает зависимость интенсивности напряжений σ_u от α.

На рис.I приведена зависимость $F = F(\alpha, \beta)$ при некоторых значениях β .

2.2. Расчетные сопротивления стали R_i определяются по формуле

$$R_i = \frac{R_{i,н} \cdot m_i}{k_i} \quad \langle i = 1,2 \rangle , \qquad (5)$$

где $R_{1,н}$, $R_{2,н}$ – нормативные сопротивления по несущей способности и достижению поверхности текучести соответственно;

k_1 , k_2 – коэффициенты безопасности по напряжениям при достижении несущей способности и текучести соответственно;

m_1 , m_2 – коэффициенты условий работы по несущей способности и текучести соответственно.

2.3. Нормативные сопротивления при переменном нагружении находят по зависимости

$$R_{i,н} = f_0 R^0_{i,н} + \sum_{к=1}^{K_1} f_к R^{(i)}\left(\frac{\omega_к N K_N}{\omega_1}\right) \cos\left(\frac{\omega_к}{\omega_1} 2\pi N + \varphi_к\right) \langle i = 1,2 \rangle , (6)$$

где $R^0_{1,н}$, $R^0_{2,н}$ – нормативные сопротивления при статическом нагружении элемента по несущей способности и текучести соответственно;

$R^{[1]}(x)$, $R^{[2]}(x)$ – нормативные сопротивления при гармоническом нагружении элемента x циклами по несущей способности и текучести соответственно;

N – число циклов по несущей частоте, причем $N = 1$ соответствует статической прочности.

2.4. Нормативное сопротивление $R^{(1)}$ определяется по формуле

$$R^{(1)}(x) = (R^0_{1,н} - R^0_{2,н})\,\varphi_1(x, k_t)\,\varphi_2(x; k_c) + \varphi_3(R^0_{2,н}, x), \qquad (7)$$

где

$$\varphi_1 = min(\varphi_1^*, 1);\ \varphi_2 = min(\varphi_2^*, 1);\ \varphi_3 = min(\varphi_3^*, R^0_{2,н}); \qquad (8)$$

$$\varphi_1^* = \frac{1}{k_t} - \left(\frac{1}{k_t} - 1\right) \frac{lg \frac{x}{N_0}}{lg \frac{N_1}{N_0}} ; \qquad (9)$$

$$\varphi_2^* = k_c - (k_c - 1) \frac{lg \frac{x}{N_0}}{lg \frac{N_2}{N_0}} ; \qquad (10)$$

$$\varphi_3^* = R_{2,H}^0 \frac{\lg \frac{x}{N_0}}{\lg \frac{N_3}{N_0}} - a \frac{\lg \frac{x}{N_3}}{\lg \frac{N_3}{N_0}}; \qquad (11)$$

k_t – теоретический коэффициент концентрации напряжений;

N_0, N_1, N_2, N_3 – базовые числа циклов нагружения;

a – коэффициент, характеризующий состояние поверхности элемента.

K_ε – эффективный коэффициент концентрации остаточных напряжений.

Здесь и в дальнейшем обозначение $z = \min(x, y)$ означает, что величина z выбирается меньшей из двух величин x и y.

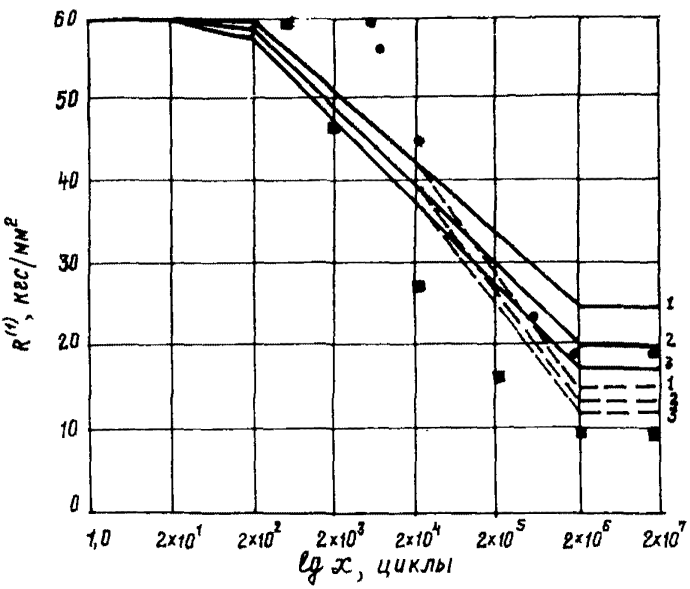


Рис.2. Зависимость $R^{(1)} \sim \lg x$ для стали Ст.60/45 при механической обработке поверхности. Кривые I, 2 и 3 соответствуют следующим значениям K_t : I,0; I,5; 2,0.

Сплошные линии – основной металл труб и соединительных деталей; пунктирные – сварные соединения. ■ – циклическая прочность труб, сваренных под слоем флюса, по ДIN 2413; ● – циклическая прочность труб, сваренных высокочастотным нагревом, по ДIN 2413.

Для примера на рис. 2 и 3 представлена взаимосвязь $R^{(1)} \sim lg\, x$ для различных элементов трубопроводов из стали Ст.60/45, характеризуемых коэффициентами k_t и k_c при различном состоянии поверхности - после обточки, после прокатки и в условиях коррозии (см.соотношения (7) - (II)).

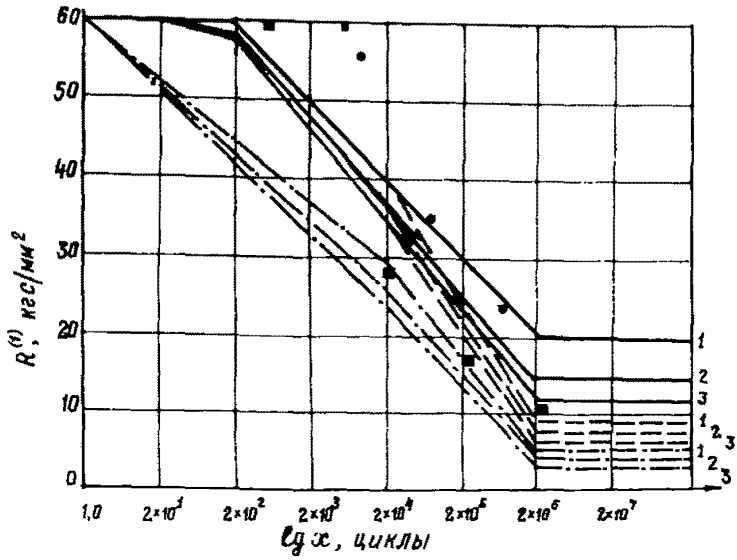


Рис.3. Зависимость $R^{(1)} \sim lg\, x$ для стали Ст.60/45, поверхность после прокатки. Кривые I,2 и 3 соответствуют следующим значениям K_t: I,0; I,5; 2,0. Сплошные линии - основной металл труб и соединительных деталей; пунктирные - сварные соединения; штрих-пунктир - в условиях коррозии.
■ - циклическая прочность труб, сваренных под слоем флюса, по DIN 2413; ● - циклическая прочность труб, сваренных высокочастотным нагревом, по DIN2413.

2.5. Нормативное сопротивление $R^{(2)}$ определяется по формуле

$$R^{(2)}(x) = min\,(\varphi_4(x), R^{0}_{2,H}), \qquad (I2)$$

где $$\varphi_4(x) = K_3\left[(R^0_{1,н} - R^0_{2,н})\frac{K_c}{K_t} + a\right]\frac{\lg\frac{x}{N_1}}{\lg\frac{N_0}{N_1}} + R^0_{2,н}\frac{\lg\frac{x}{N_0}}{\lg\frac{N_0}{N_1}}. \quad (13)$$

Здесь коэффициент K_3 равен отношению циклического предела текучести к пределу выносливости стали.

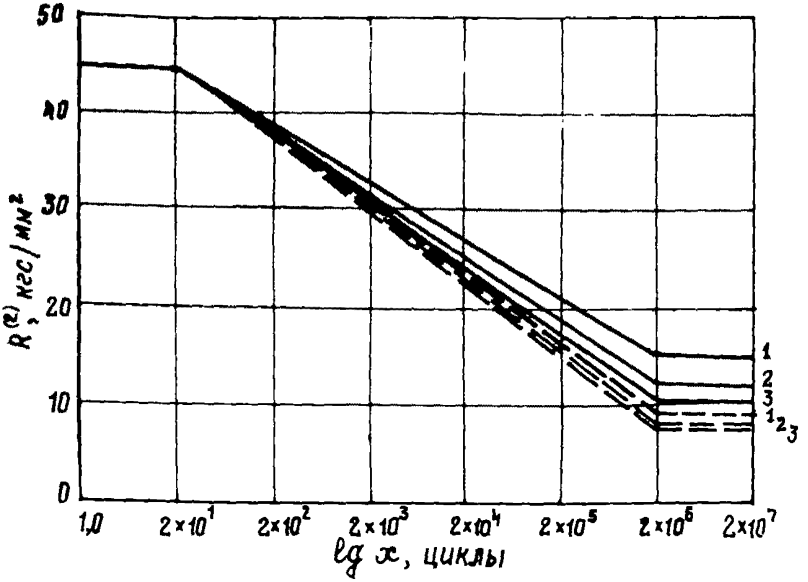


Рис.4. Зависимость $R^{(2)} \sim \lg x$ для стали Ст.60/45 при механической обработке поверхности. Кривые 1,2 и 3 соответствуют следующим значениям K_t : 1,0; 1,5; 2,0. Сплошные линии – основной металл труб и соединительных деталей; пунктирные – сварные соединения

Для примера на рис.4 и 5 представлена взаимосвязь $R^{(2)} \sim \lg x$ для некоторых элементов трубопровода из стали Ст.60/45, характеризуемых значениями K_t и K_c, при трех состояниях поверхности – после обточки, после прокатки и в условиях коррозии (см.соотношения (12) – (13)).

2.6. Рекомендуются следующие значения базовых чисел циклов: N_0 = 2 x 10^6 циклов; N_1 = 2 x 10 циклов;
N_2 = 2 x 10^4 циклов; N_3 = 2 x 10^2 циклов.

Коэффициент a равен 4 кгс/мм^2 для элемента с поверхностью после прокатки или штамповки и 10 кгс/мм^2 для элемента, поверхность которого подвергнута механической обработке.

Для элемента, поверхность которого находится в условиях коррозии, следует выбирать $a = 0$; $N_1 = N_3 = 1$.

При этом расчетные значения геометрических размеров элемента следует увеличить на величину коррозионного слоя за срок службы трубопровода.

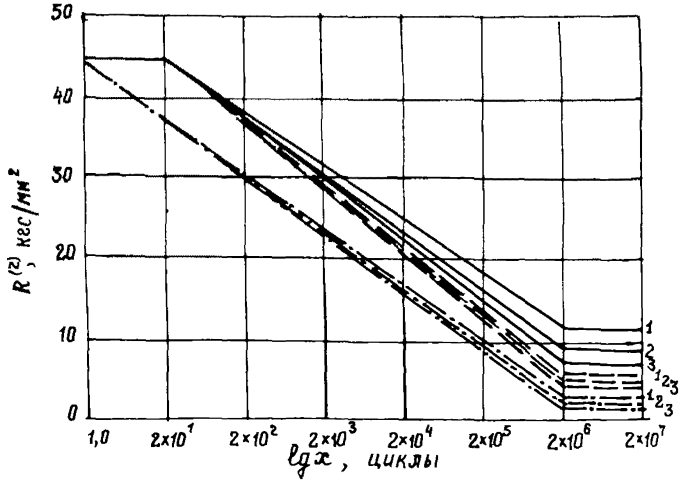


Рис.5. Зависимость $R^{(2)} \sim lgx$ для стали Ст.60/45, поверхность после прокатки. Кривые 1,2 и 3 соответствуют следующим значениям k_t : 1,0; 1,5; 2,0. Сплошные линии - основной металл труб и соединительных деталей; пунктирные - сварные соединения; штрих-пунктир - в условиях коррозии

Коэффициент k_c равен 0,35 для сварных соединений (поперечное или продольное стыковые соединения) и 1 - для элементов без сварного шва.

Значение коэффициента k_3 лежит в интервале (0,6-0,7).

2.7. Соотношения (3-I3) позволяют определить долговечность элементов трубопроводов при заданной их геометрии или размеры элементов при заданной долговечности под действием механического и теплового нагружения в условиях монтажа и эксплуатации.

2.8. Коэффициент запаса по долговечности равен 5, т.е. $K_N = 5$.

2.9. Коэффициенты K_1, m_1 и K_2, m_2 целесообразно связать между собой таким образом, чтобы для базовых сталей, применяемых в отрасли, приближенно выполнялось равенство $R_1 \approx R_2$ для нормативного срока службы трубопровода.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ТРУБ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

3.I. Толщину стенки труб и соединительных деталей выбирают большей из двух значений δ_1 и δ_2, т.е.:

$$\delta = max(\delta_1, \delta_2). \qquad (I4)$$

Значения δ_1 и δ_2 являются решениями таких уравнений:

при $|\alpha| \leq 1$

$$\sigma_1 F(\alpha, \beta) = R_i ; \qquad (I5)$$

при $|\alpha| > 1$

$$\sigma_1 |\alpha| \cdot F\left(\frac{1}{\alpha}, \beta\right) = R_i \quad <i = 1,2>,$$

где

$$\alpha = 0{,}5k + (1-k)\mu_i + \frac{(k-1)\alpha T E_i}{\sigma_1} ; \qquad (I6)$$

$$\sigma_1 = \frac{n r_i p_i}{\delta_i} ;$$

p - нормативное значение давления в трубопроводе;

r - радиус срединной поверхности трубы;

n - коэффициент перегрузки;

$$\frac{1}{E_i}=\frac{1}{E}+\frac{1}{R_{i,н}}\left(1-\frac{R_{2н}}{R_{1н}}\right)\ell g\ \frac{1}{1-q_i^2\psi}\qquad <i=1,2>; \tag{17}$$

$$q_i=\frac{\mu_i m_i}{\kappa_i \eta_i},\ \mu_1=0{,}5,\ \mu_2=0{,}3;$$

k – коэффициент, характеризующий степень стеснения продольной деформации и изменяющийся в интервале [0,1];

η_1, η_2 – коэффициенты, характеризующие влияние геометрического очертания труб и соединительных деталей на их несущую способность и на достижение поверхности текучести (приложение 1);

ψ – относительное сужение поперечного сечения образца при разрушении в условиях монотонного растяжения;

q_1, q_2 – коэффициенты безопасности по ψ при достижении несущей способности и текучести соответственно;

E – модуль упругости материала элемента;

T – температурный перепад, т.е. разность между средними величинами эксплуатационной температуры стенки и температуры замыкания трубопровода, принимаемый положительным при нагреве и отрицательным при охлаждении.

3.2. При $T = 0$ соотношение (15) может быть записано в таком виде:

$$\delta_i=\frac{n\eta_i p r F\left(0{,}5k+(1-k)\mu_i,\beta\right)}{R_i}\approx\frac{n\eta_i p r}{R_i}\qquad <i=1,2>. \tag{18}$$

При $T \neq 0$ толщину стенки определяют по следующей зависимости:

$$\delta_i=\frac{n\eta_i p r}{\alpha|xT|E_i}\qquad <i=1,2>, \tag{19}$$

где x находится как решение уравнений

$$x\cdot F(\alpha(x),\beta)=\frac{R_i}{\alpha T E_i}\qquad |\alpha(x)|\leq 1;$$

при

$$x\cdot\alpha(x)F\left(\frac{1}{\alpha(x)},\beta\right)=\frac{R_i}{\alpha T E_i},\qquad |\alpha(x)|>1, \tag{20}$$

где $$\alpha(x)=0{,}5k+(1-k)\mu_i+\frac{k-1}{x} \qquad <i=1,2>.$$

Для трубных сталей и реальных температурных перепадов в магистральных трубопроводах

$$R_i \geq 2\alpha|T|E_i \qquad <i=1,2>. \tag{21}$$

Тогда соотношения (20) имеют такое приближенное решение:

$$x \approx R_i / \alpha T E_i .$$

С учетом этого зависимости (I4) и (I9) преобразуются к виду

$$\delta = \frac{npz}{R}, \tag{22}$$

где

$$R = min\,(R_1, R_2).$$

Соотношение (22) является основным для определения толщины стенок труб.

Таким образом, при выполнении условия (2I) толщина стенки труб не зависит от осевых номинальных напряжений, т.е. от разности между эксплуатационной температурой стенки и температурой замыкания трубопровода.

Влияние режимов нагружения и состояния поверхности элементов магистрального трубопровода на величину толщин их стенок показано в приложении 2.

3.3. В общем случае $(2\alpha|T|E_i > R_i)$ выбор толщин стенок труб и соединительных деталей производят по соотношениям (I4), (I9), (20).

Коэффициент k выбирается равным:

$k=0$ - для прямолинейных участков подземных трубопроводов, уложенных в плотных грунтах, в том числе для подземной части обвязочных трубопроводов компрессорных станций, гребенок многониточных переходов, обвязок крановых устройств и узлов пуска-приема очистных устройств;

$k=0{,}25$ - для участков надземных бескомпенсаторных трубопроводов, в том числе надземной части обвязочных трубопроводов компрессорных станций;

k = 0,5 - для участков подземных трубопроводов, уложен - ных в слабых грунтах, и участков подземных трубопроводов с компенсаторами, уложенных в плотных грунтах;

k = 0,75 - для надземных трубопроводов с компенсаторами и участков подземных трубопроводов, прокладываемых в обводненной и заболоченной местности;

k = I - для участков трубопроводов с заглушкой при отсутствии сопротивления продольным перемещениям.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

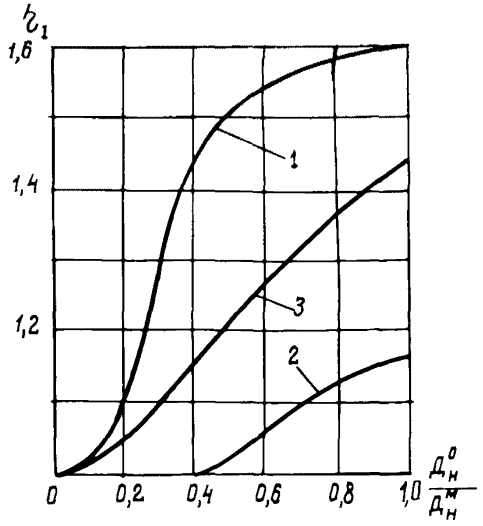
НЕКОТОРЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ ДЛЯ ТРУБ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Для труб и заглушек коэффициенты η_1 и η_2 равны I.

Для тройников значение коэффициентов η_1 находят по рисунку, а η_2 определяют по формуле

$$\eta_2 = \frac{D_н^м}{0{,}5(D_н^м - D_н^о) + 1{,}2\delta_0}, \qquad (I)$$

где δ_0 – толщина стенки ответвления.



Зависимость коэффициента η_1 от отношения наружного диаметра ответвления тройника к наружному диаметру его магистральной части $D_н^о / D_н^м$:

I – для сварных тройников без усиливающих накладок; 2 – для тройников с усиливающими накладками; 3 – для штампованных и штампосварных тройников

Значения r_1 / D	Значения η_1
I	I,3
I,5	I,I5
2,0 и более	I,0

Для отводов величины η_1 приведены в таблице, а значения коэффициента η_2 определяют по соотношению

$$\eta_2 = 0{,}5\left(1 + \frac{2r_1}{2r_1 - D}\right), \qquad (2)$$

где r_1 - радиус центральной оси отвода;
D - наружный диаметр отвода.

Для конического переходного участка $\eta_1 = 1$, а величину коэффициента η_2 определяют по формуле

$$\eta_2 = \frac{1}{\cos\gamma}; \qquad 0 \le \gamma \le 45^\circ, \qquad (3)$$

где γ - угол конусности, равный половине угла конуса при вершине.

Приложение 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО НАГРУЖЕНИЯ ЗАДАННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Рассмотрим участок магистрального трубопровода, изготовленного из труб Ст.60/45.

Предполагается, что внутреннее давление в трубопроводе изменяется по закону $p = p_0 \cdot f(t)$, где $f(t)$ представляется зависимостью (2).

Значения коэффициентов f_K соотношения (2) для пяти режимов нагружения и $x_K = 5 \frac{\omega_K}{\omega_1} N$ при $K = 1,2,3,4$ даны в табл I.

Таблица I

Номер режима нагружения	Значения коэффициентов нагружения f_K				
	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4
I	0,5	0,5	-	-	-
2	0,5	0,4	0,I	-	-
3	0,5	0,35	0,I	0,5	-
4	0,5	0,32	0,I	0,05	0,03
5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Количество циклов эксплуатационного нагружения x_K				
-	-	$x_1 = 5 \times 10^2$	$x_2 = 5 \times 10^3$	$x_3 = 5 \times 10^4$	$x_4 = 5 \times 10^5$

В табл.2 представлены значения нормативных сопротивлений $R_{1,H}$ и $R_{2,H}$ для пяти режимов нагружения и трех состояний поверхности трубопровода - необработанной, после механической обработки и в условиях коррозии. Показано существенное влияние режима нагружения на величину нормативных сопротивлений.

Относительное значение толщины стенки, равное отношению значений толщин по зависимости $\delta_i = \frac{npi}{R_i}$ и по зависимо-

сти $\delta_i^o = \frac{n\eta_i pz}{R_i^o}$ $\langle i=1,2\rangle$ (по статической прочности), т.е. $\frac{\delta_i}{\delta_i^o} = \frac{R_i^o}{R_i}$, также существенно зависит от режима нагружения и состояния поверхности трубопровода (табл.2), причем несколько большее влияние обнаруживается по второму предельному состоянию - достижению поверхности текучести.

Таблица 2

Состояние поверхности стыкового соединения	Номер режима нагружения	Значения коэффициентов			$R_{1,H}$	$R_{2,H}$	$\frac{\delta_1}{\delta_1^o}$	$\frac{\delta_2}{\delta_2^o}$
		K_t	K_c	α, кгс/мм^2				
Обработанная	I	I	0,35	I0	58,3	40,0	I,0	I,I
	2				57,3	39,3	I,I	I,I
	3				56,4	38,6	I,I	I,2
	4				55,4	37,9	I,I	I,2
	5				45,6	28,4	I,3	I,6
Необработанная	I	I,3	0,35	4	57,5	39,4	I,0	I,I
	2				56,4	38,6	I,I	I,2
	3				55,2	37,8	I,I	I,2
	4				53,6	37,I	I,I	I,2
	5				4I,4	26,4	I,5	I,7
Необработанная в условиях коррозии	I	I,3	0,35	0	49,6	35,0	I,2	I,3
	2				48,9	35,2	I,2	I,3
	3				48,0	34,5	I,3	I,3
	4				47,2	33,9	I,3	I,3
	5				32,8	22,3	I,8	2,0

Таким образом, разработанная методика позволяет определить влияние режимов нагружения и состояния поверхности магистральных трубопроводов на величину номинальной толщины стенок труб и соединительных деталей. Если это влияние учитывается коэффициентом условий работы, то этот коэффициент приобретает определенный физический смысл.

ЛИТЕРАТУРА

I. Биргер И. А. Детерминированные и статистические модели суммирования повреждений. "Проблемы прочности", 1978, № 3, с.3-10.

2. Верченко Е. В., Завойчинский Б.И. Метод оценки усталостной прочности строительных металлоконструкций."Обзоры по вопросам проектирования металлических конструкций". М., вып.4, ЦИНИСА, 1970.

3. Завойчинский Б. И. Некоторые вопросы усталостной прочности металлоконструкций. В кн. "Всесоюзная конференция по теоретическим основам расчета строительных конструкций". изд-во "Стройиндустрия", 1970.

4. Завойчинский Б. И. О статистической теории усталостного разрушения металлоконструкции. В кн. "Проблемы надежности в строительной механике". Вильнюс, Стройиздат, 1971.

5. Завойчинский Б. И., Верченко Е. В. Систематизация экспериментальных данных по усталостной прочности основных типов сварных соединений. В кн.: "Проектирование металлических конструкций", серия УП, вып.12. М., ЦИНИСА, 1971.

6. Завойчинский Б. И. О приближенной закономерности "предел усталости - число циклов до разрушения" для стальных сварных соединений. В кн. "Проектирование металлических конструкций", серия УП, вып.5. М., ЦИНИСА, 1972.

7. Завойчинский Б. И. К оценке надежности сосудов давления. В кн. "Проблемы надежности в строительной механике". М., Стройиздат, 1975.

8. Завойчинский Б. И. Об одном обобщении линейной теории накопления повреждений А.А.Ильюшина. "Изв. АН СССР, МТТ". М., 1973, № 3, с.53-57.

9. Завойчинский Б. И. Линейная теория прочности при переменных нагружениях. Упругость и неупругость. [illegible], изд-во МГУ, 1973, с.177-181.

10. Завойчинский Б. И., Климов С. А., Домбров О. И. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния шаровых газгольдеров. В кн. "Проектирование металлических конструкций", серия УП, № 1 (56). М., ЦИНИСА, 1975.

II. З а в о й ч и н с к и й Б. И. Методика оценки надежности металлоконструкций, работающих при циклическом внутреннем давлении. В кн. "Проектирование металлических конструкций", серия УП, № I (56). М., ЦИНИСА, 1975.

I2. З а в о й ч и н с к и й Б. И. О статистической оценке прочности линейной части магистральных трубопроводов. Труды ВНИИСТа, вып.40. М., 1977, с.5-14.

I3. З а в о й ч и н с к и й Б. И. Основные положения линейной стохастической теории прочности при переменном нагружении. В кн. "Проблемы оптимизации и надежности в строительной механике (тезисы докладов)." М., Стройиздат, 1979.

I4. З а в о й ч и н с к и й Б. И. Об одной линейной теории предельных процессов нагружения магистральных трубопроводов. Труды ВНИИСТа, М., 1979.

I5. И л ь ю ш и н А. А. Об одной теории длительной прочности. "Инж.ж.МТТ", 1967, № 3, с.2I-35.

I6. К а ч а н о в Л. М. Основы механики разрушения. М., "Наука", 1974.

I7. М ю н з е В. Х. Усталостная прочность сварных стальных конструкций. М., "Машиностроение", 1968.

I8. М о с к в и т и н В. В. Сопротивление вязко-упругих материалов. М. "Наука", 1972.

I9. С е р е н с е н С. В., К о г а е в В. В., Ш н е й д е р о в и ч Г. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М., Машгиз, 1963.

20. Ф о р р е с т П. Усталость металлов. М., "Машиностроение", 1968.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

I. Общие положения 4

2. Основные соотношения теории предельных процессов нагружения магистральных трубопроводов... 5

3. Определение толщины стенок труб и соединительных деталей 12

Приложения 17

Литература 23

Основные положения
расчета магистральных трубопроводов
на прочность по теории предельных
процессов простого нагружения

Р 359-79

Издание ВНИИСТа

Редактор Л.С.Панкратьева
Корректор С.П.Михайлова
Технический редактор Т.В.Березева

Л-53009 Подписано в печать 21.II.1980г. Формат 60х84/16
Печ.л. I,5 Уч.-изд.л. I,I Бум.л. 0,75
Тираж 450 экз. Цена II коп. Заказ 24

Ротапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru