

ПОСОБИЕ
по расчету на прочность технологических стальных
трубопроводов на P_y до 10 Мпа
(к СН 527-80)

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО МОНТАЖНЫМ И СПЕЦИАЛЬНЫМ
СТРОИТЕЛЬНЫМ РАБОТАМ (ВНИИмонтажспецстрой)
МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЯ СССР
неофициальная редакция

(к СН 527-80)

Утверждено
приказом ВНИИ монтажспецстроя
от 4 сентября 1986 г. №41 ОД

Москва
Центральный институт
типового проектирования
1989

Рекомендовано к изданию решением секции конструкций, технологии и механизации монтажных работ научно-технического совета ВНИИмонтажспецстроя Минмонтажспецстроя СССР.

Устанавливает нормы и методы расчета на прочность технологических стальных трубопроводов, разработка которых осуществляется в соответствии с «Инструкцией по проектированию технологических стальных трубопроводов P_y до 10Мпа» (СН527-80).

Для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

При пользовании Пособием следует учитывать утвержденные изменения строительных норм и правил и государственных стандартов, публикуемые в журнале «Бюллетень строительной техники», «Сборнике изменений к строительным нормам и правилам» Госстроя СССР и информационном указателе «Государственные стандарты СССР» Госстандарта.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие предназначено для расчета на прочность трубопроводов, разрабатываемых в соответствии с «Инструкцией по проектированию технологических стальных трубопроводов P_y до 10 Мпа» (СН527-80) и служащих для транспортирования жидких и газообразных веществ давлением до 10 Мпа и температурой от минус 70 до плюс 450 °С.

Приведенные в Пособии методы и расчеты применяются при изготовлении, монтаже, контроле трубопроводов и их элементов в соответствии с ГОСТ 1737-83 по ГОСТ 17380-83, с ОСТ 36-19-77 по ОСТ 36-26-77, с ОСТ 36-41-81 по ОСТ 36-49-81, с ОСТ 36-123-85 и СНиП 3.05.05.-84.

Пособие не распространяется на трубопроводы, прокладываемые в районах с сейсмичностью 8 баллов и более.

Основные буквенные обозначения величин и индексы к ним приведены в прил. 3 в соответствии с СТ СЭВ 1565-79.

Пособие разработано институтом ВНИИмонтажспецстрой Минмонтажспецстроя СССР (д-р техн. наук *Б.В. Поповский*, кандидаты техн. наук *Р.И. Тавастшерна*, *А.И. Бесман*, *Г.М. Хажинский*).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

РАСЧЕТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

- 1.1. Физические и механические характеристики сталей следует определять по расчетной температуре.
- 1.2. Расчетную температуру стенки трубопровода следует принимать равной рабочей температуре

транспортируемого вещества в соответствии с проектной документацией. При отрицательной рабочей температуре за расчетную температуру следует принимать 20°C и при выборе материала учитывать допустимую для него минимальную температуру.

РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

1.3. Расчет на прочность элементов трубопроводов следует производить по расчетному давлению P с последующей проверкой на действие дополнительных нагрузок, а также с проверкой на выносливость при выполнении условий п. 1.18.

1.4. Расчетное давление следует принимать равным рабочему давлению в соответствии с проектной документацией.

1.5. Расчетные дополнительные нагрузки и соответствующие им коэффициенты перегрузок следует принимать по СНиП 2.01.07-85. Для дополнительных нагрузок, не приведенных в СНиП 2.01.07-85, коэффициент перегрузки следует принимать равным 1,2. Коэффициент перегрузки для внутреннего давления следует принимать равным 1,0.

РАСЧЕТ ДОПУСКАЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ

1.6. Допускаемое напряжение $[\sigma]$ при расчете элементов и соединений трубопроводов на статическую прочность следует принимать по формуле

$$[\sigma] = \min \left[\frac{R_{0,2}}{n_y}, \frac{R_b}{n_b}, \frac{R_z}{n_z} \right]. \quad (1)$$

1.7. Коэффициенты запаса прочности по временному сопротивлению n_b , пределам текучести n_y и длительной прочности n_z следует определять по формулам:

$$n_y = n_z = 1,30\gamma; \quad (2)$$

$$n_b = 2,1\gamma. \quad (3)$$

1.8. Коэффициент надежности γ трубопровода следует принимать по табл. 1.

Транспортируемые вещества	Коэффициенты надежности γ для трубопроводов категорий		
	I, II	III, IV	V
Газы всех групп, сжиженные газы, вещества группы А	1,25	1,15	1,10
Вещества групп Б и В, кроме газов	1,15	1,05	1,00

1.9. Допускаемые напряжения для марок стали, указанных в ГОСТ 356-80, следует определять по формуле:

$$[\sigma] = [\sigma^{20}] A_t, \quad (4)$$

где $[\sigma^{20}]$ - определяется в соответствии с п. 1.6 с учетом характеристик $R_{0,2}^{20}$ и R_b^{20} ;

A_t - температурный коэффициент, определяемый по табл.2.

Таблица 2

Марка стали	Расчетная температура t_d , °C	Температурный коэффициент A_t
Ст3 - по ГОСТ 380-71; 10; 20; 25 - по ГОСТ 1050-74; 09Г2С, 10Г2С1, 15ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С - по ГОСТ 19282-73 (всех групп, категорий поставки и степеней раскисления)	До 200	1,00
	250	0,90
	300	0,75
	350	0,66
	400	0,52
	420	0,45
	430	0,38
	440	0,33
	450	0,28
15Х5М - по ГОСТ 20072-74	До 200	1,00
	325	0,90
	390	0,75
	430	0,66
	450	0,52
08Х18Н10Т, 08Х22Н6Т, 12Х18Н10Т, 45Х14Н14В2М, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	До 200	1,00
	300	0,90

08X17H1M3T - по ГОСТ 5632-72; 15XM - по ГОСТ 4543-71; 12MX - по ГОСТ 20072-74	400	0,75
	450	0,69
12X1MФ, 15X1MФ - по ГОСТ 20072-74	До 200	1,00
	320	0,90
	450	0,72
20X3MВФ - по ГОСТ 20072-74	До 200	1,00
	350	0,90
	450	0,72

Примечания: 1. Для промежуточных значений температур значение величины A_t - следует определять линейной интерполяцией.

2. Для углеродистой стали при температурах от 400 до 450 °С приняты средние значения на ресурс $2 \cdot 10^5$ ч.

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОЧНОСТИ

1.10. При расчетах элементов, имеющих отверстия или сварные швы, следует учитывать коэффициент прочности, принимаемый равным наименьшему из значений φ_d и φ_w :

$$\varphi = \min[\varphi_d, \varphi_w]. \quad (5)$$

1.11. При расчете бесшовных элементов отверстий без отверстий следует принимать $\varphi = 1.0$.

1.12. Коэффициент прочности φ_d элемента с отверстием следует определять в соответствии с пп.5.3-5.9.

1.13. Коэффициент прочности сварного шва φ_w следует принимать равным 1,0 при 100%-ном контроле сварных швов неразрушающими методами и 0,8 - во всех остальных случаях. Допускается принимать другие значения φ_w с учетом эксплуатации и показателей качества элементов трубопроводов. В частности, для трубопроводов жидких веществ группы В категории V по усмотрению проектной организации допускается принимать $\varphi_w = 1,0$ для всех случаев.

РАСЧЕТНАЯ И НОМИНАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА СТЕНОК ЭЛЕМЕНТОВ

1.14. Расчетную толщину стенки t_R элемента трубопровода следует вычислять по формулам разд. 2-7.

1.15. Номинальную толщину стенки t элемента следует определять с учетом прибавки C исходя из условия

$$t \geq t_R + C \quad (6)$$

с округлением до ближайшей большей толщины стенки элемента по стандартам и техническим условиям. Допускается округление в сторону меньшей толщины стенки, если разница не превышает 3 %.

1.16. Прибавку C следует определять по формуле

$$C = C_1 + C_2, \quad (7)$$

где C_1 - прибавка на коррозию и износ, принимаемая по нормам проектирования или отраслевым нормативным документам;

C_2 - технологическая прибавка, принимаемая равной минусовому отклонению толщины стенки по стандартам и техническим условиям на элементы трубопроводов.

ПРОВЕРКА НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

1.17. Проверку на дополнительные нагрузки (с учетом всех расчетных нагрузок и воздействий) следует производить для всех трубопроводов после выбора их основных размеров.

ПРОВЕРКА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

1.18. Проверку на выносливость следует производить только при совместном выполнении двух условий: при расчете на самокомпенсацию (второй этап расчета на дополнительные нагрузки)

$$\sigma_{\text{ср}} \geq [\sigma^{20}]; \quad (8)$$

при заданном числе полных циклов изменения давления в трубопроводе (N_{cp})

$$\sigma \geq \frac{1}{3} [\sigma_a]. \quad (9)$$

Величину $[\sigma_a]$ следует определять по формуле (8) или (9) прил. 2 при значении $N_c = N_{cp}$, вычисленном по формуле

$$N_{cp} = N_{cp0} + \sum_{i=1}^{n_c} \left[\frac{\left(\frac{3\Delta P_i \sigma}{P\sigma_0} \right)^{1,6} - 1}{\left(\frac{3\sigma}{\sigma_0} \right)^{1,6} - 1} \right]^{1,875} N_{cpi}, \quad (10)$$

где $\sigma_0 = 168/\gamma$ - для углеродистых и низколегированных сталей;
 $\sigma_0 = 240/\gamma$ - для аустенитных сталей.

2. ТРУБЫ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТРУБЫ

2.1. Расчетную толщину стенки трубы следует определять по формуле

$$t_R = \frac{PD_e}{2\varphi[\sigma] + P} \quad (11)$$

или

$$t_R = \frac{PD_e}{2\varphi[\sigma^{20}]A_t + P}. \quad (12)$$

Если задано условное давление P_y , толщину стенки допускается вычислять по формуле

$$t_R = \frac{P_y D_e}{2\varphi[\sigma^{20}] + P_y}. \quad (13)$$

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

2.2. Расчетное напряжение от внутреннего давления, приведенное к нормальной температуре, следует вычислять по формуле

$$\sigma = \frac{P[D_e - (t - C)]}{2A_t\varphi(t - C)} \quad (14)$$

или

$$\sigma = \frac{P_y[D_e - (t - C)]}{2\varphi(t - C)}. \quad (15)$$

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

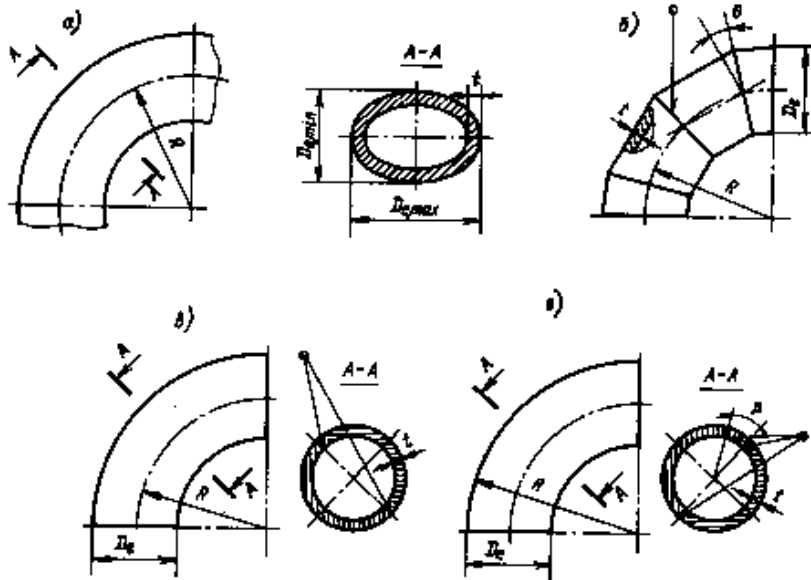
2.3. Допустимое внутреннее давление следует вычислять по формуле

$$[P] = \frac{2[\sigma^{20}]A_t\varphi(t - C)}{D_e - (t - C)}. \quad (16)$$

3. ОТВОДЫ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ГНУТЫХ ОТВОДОВ

3.1. Для гнутых отводов (черт. 1, а) с $R/(D_e - t) \geq 1,7$, не подлежащих проверке на выносливость в соответствии с п.1.19. на расчетную толщину стенок t_{R1} следует определять в соответствии с п.2.1.



Черт.1. Отводы

a - гнутый; *б* - секторный; *в*, *г* - штамповарные

3.2. В трубопроводах, подлежащих проверке на выносливость в соответствии с п.1.18, расчетную толщину стенок t_{R1} следует вычислять по формуле

$$t_{R1} = k_1 t_R, \quad (17)$$

где k_1 - коэффициент, определяемый по табл. 3.

3.3. Расчетную относительную овальность $a_0 = 6\%$ следует принимать для стесненной гибки (в ручье, с дорном и т.п.); $a_0 = 0$ - для свободной гибки и гибки с зональным нагревом токами высокой частоты.

Нормативную относительную овальность a следует принимать по стандартам и техническим условиям на конкретные отводы

$$\left(a = 200 \frac{D_{e,max} - D_{e,min}}{D_{e,max} + D_{e,min}} \right).$$

Таблица 3

$\frac{t_R}{D_e - t}$	Значение k_1 для a_R , равной								
	20	18	16	14	12	10	8	6	4 и менее
0,02	2,05	1,90	1,75	1,60	1,45	1,30	1,20	1,10	1,00
0,03	1,85	1,75	1,60	1,50	1,35	1,20	1,10	1,00	1,00
0,04	1,70	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05	1,00	1,00
0,05	1,55	1,45	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00
0,06	1,45	1,35	1,30	1,20	1,15	1,05	1,00	1,00	1,00
0,07	1,35	1,30	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
0,08	1,30	1,25	1,15	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
0,09	1,25	1,20	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	1,20	1,15	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,11	1,15	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,12	1,15	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,13	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,14	1,10	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,15	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,16	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Примечание. Значение k_1 для промежуточных значений $t_R/(D_e - t_R)$ и a_R следует определять линейной интерполяцией.

3.4. При определении номинальной толщины стенки прибавка C_2 не должна учитывать утонение на внешней стороне гнутого отвода.

РАСЧЕТ БЕСШОВНЫХ ОТВОДОВ С ПОСТОЯННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНОК

3.5. Расчетную толщину стенки следует определять по формуле

$$t_{R2} = k_2 t_R, \quad (19)$$

где коэффициент k_2 следует определять по табл. 4.

Таблица 4

$\frac{R}{D_e - t_R}$	Св. 2,0	1,5	1,0
k_2	1,00	1,15	1,30

Примечание. Значение k_2 для промежуточных значений $R/(D_e - t_R)$ следует определять линейной интерполяцией.

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК СЕКТОРНЫХ ОТВОДОВ

3.6. Расчетную толщину стенок секторных отводов (черт. 1,б) следует определять по формуле

$$t_{R3} = k_3 t_R, \quad (20)$$

где коэффициент k_3 отводов, состоящих из полусекторов и секторов с углом скоса θ до 15° , определяемый по формуле

$$k_3 = \frac{4R - D_e + t_R}{4R - 2D_e + 2t_R}. \quad (21)$$

При углах скоса $\theta > 15^\circ$ коэффициент k_3 следует определять по формуле

$$k_3 = 1 + 1,25 \operatorname{tg} \theta \sqrt{\frac{D_e - t_R}{2t_R}}. \quad (22)$$

3.7. Секторные отводы с углами скоса $\theta > 15^\circ$ следует применять в трубопроводах, работающих в статическом режиме и не требующих проверки на выносливость в соответствии с п. 1.18.

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ШТАМПОСВАРНЫХ ОТВОДОВ

3.8. При расположении сварных швов в плоскости изгиба (черт.1,в) толщину стенки следует вычислять по формуле

$$t_{R4} = \frac{k_3 t_R}{\varphi_w}. \quad (23)$$

3.9. При расположении сварных швов на нейтрали (черт. 1,з) расчетную толщину стенки следует определять как наибольшее из двух значений, вычисленных по формулам:

$$t_{R5} = \frac{t_R}{\varphi_w}; \quad (24)$$

$$t_{R5} = k_3 t_R. \quad (25)$$

3.10. Расчетную толщину стенки отводов с расположением швов под углом β (черт. 1,з) следует определять как наибольшее из значений t_{R3} [см. формулу (20)] и значения t_{R12} , вычисленного по формуле

$$t_{R12} = \frac{1 + \frac{D_e - t_R}{4R} \sin \beta}{1 + \frac{D_e - t_R}{2R} \sin \beta} \frac{t_R}{\varphi_w}. \quad (26)$$

Таблица 5

$\frac{R}{D_e - t_R} \geq 1,7$	Протяжные и штампованные отводы	Секторные отводы	Штампованные отводы		
			по черт. 1,в	по черт. 1,з шов на нейтрали	при расположении швов под углом к нейтрали

k_1 - в соответствии с табл. 3	k_2 - по табл. 4	k_3 - по формуле (21) или (22)	$\frac{k_3}{\varphi_w}$	$\max \left[k_3, \frac{1}{\varphi_w} \right]$	$\max \left[k_3, \frac{1}{\varphi_w} \frac{1 + \frac{D_e - t_R}{4R} \sin \beta_i}{\frac{D_e - t_R}{2R} \sin \beta_i} \right]$
----------------------------------	--------------------	----------------------------------	-------------------------	--	--

Примечание. Значение k_3 для штамповарных отводов следует вычислять по формуле (21).

Угол β следует определять для каждого сварного шва, отсчитывая его от нейтральной линии, как показано на черт. 1,2.

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

3.11. Расчетное напряжение в стенках отводов, приведенное к нормальной температуре, следует вычислять по формуле

$$\sigma = \frac{k_i P [D_e - (t - C)]}{2 A_t (t - C)} \quad (27)$$

или

$$\sigma = \frac{k_i P_y [D_e - (t - C)]}{2 (t - C)}, \quad (28)$$

где значение k_i следует определять по табл. 5.

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

3.12. Допустимое внутреннее давление в отводах следует определять по формуле

$$[P] = \frac{2 [\sigma^{20}] A_t (t - C)}{k_i [D_e - (t - C)]}, \quad (29)$$

где коэффициент k_i следует определять по табл. 5.

4. ПЕРЕХОДЫ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ

4.11. Расчетную толщину стенки конического перехода (черт. 2,а) следует определять по формуле

$$t_{R6} = \frac{P D_e}{2 \varphi_w A_t [\sigma^{20}] \cos \alpha + P} \quad (30)$$

или

$$t_{R6} = \frac{P_y D_e}{2 \varphi_w [\sigma^{20}] \cos \alpha + P_y}, \quad (31)$$

где φ_w - коэффициент прочности продольного сварного шва.

Формулы (30) и (31) применимы, если

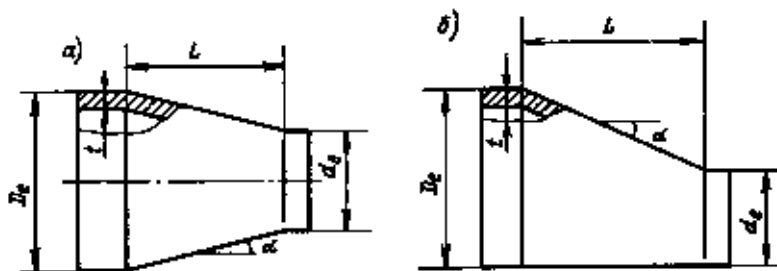
$$\alpha \leq 15^\circ \text{ и } 0,003 \leq \frac{t_{R6}}{D_e - 2t} \leq 0,25$$

или

$$15^\circ < \alpha \leq 45^\circ \text{ и } 0,003 \leq \frac{t_{R6}}{D_e - 2t} \leq 0,15$$

и

$$\frac{d_e - 2t}{D_e - 2t} \leq 1 - \frac{2 \sin \alpha}{\sqrt{\cos \alpha}} \sqrt{\left(1 + \frac{t_{R6}}{D_e - 2t} \right) \frac{t_{R6}}{D_e - 2t}}.$$



Черт. 2. Переходы

a - конический; *б* - эксцентрический

4.2. Угол наклона образующей α следует вычислять по формулам:
для конического перехода (см. черт. 2,*a*)

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{D_e - d_e}{2L}; \quad (32)$$

для эксцентрического перехода (черт.2,*б*)

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{D_e - d_e}{L}. \quad (33)$$

4.3. Расчетную толщину стенки переходов, штампованных из труб, следует определять как для труб большего диаметра в соответствии с п.2.1.

4.4. Расчетную толщину стенки переходов, штампованных из листовой стали, следует определять в соответствии с разд.7.

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

4.5. Расчетное напряжение в стенке конического перехода, приведенное к нормальной температуре, следует вычислять по формуле

$$\sigma = \frac{P[D_e - (t - C)]}{2A_t(t - C)\varphi_w \cos \alpha} \quad (34)$$

или

$$\sigma = \frac{P_y[D_e - (t - C)]}{2(t - C)\varphi_w \cos \alpha}. \quad (35)$$

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

4.6. Допустимое внутреннее давление в переходах следует вычислять по формуле

$$[P] = \frac{2[\sigma^{20}]A_t\varphi_w(t - C)\cos \alpha}{D_e - (t - C)}. \quad (36)$$

5. ТРОЙНИКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

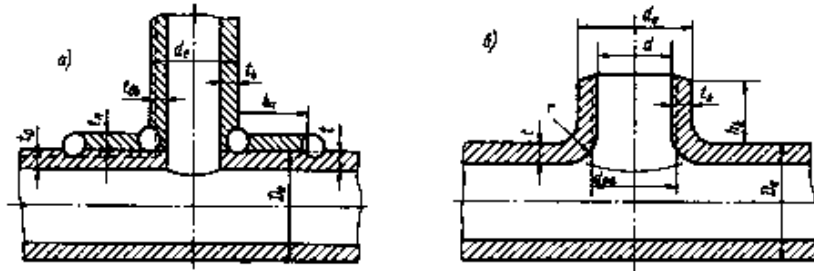
РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ

5.1. Расчетную толщину стенки магистрали (черт. 3,*a*) следует определять по формуле

$$t_{R7} = \frac{PD_e}{2\varphi_d[\sigma^{20}]A_t + P} \quad (37)$$

или

$$t_{R7} = \frac{P_y D_e}{2\varphi_d[\sigma^{20}] + P_y} \quad (38)$$



Черт. 3. Тройники
a - сварной; *б* - штампованный

5.2. Расчетную толщину стенки штуцера следует определять в соответствии с п.2.1.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОЧНОСТИ МАГИСТРАЛИ

5.3. Расчетный коэффициент прочности магистрали следует вычислять по формуле

$$\varphi_d = \frac{2}{1,75 + \frac{d}{\sqrt{(D_e - t)(t - C)}}} \left[1 + \frac{\Sigma A}{2(t - C)\sqrt{(D_e - t)(t - C)}} \right], \quad (39)$$

где $t \geq t_7 + C$.

При определении ΣA площадь наплавленного металла сварных швов допускается не учитывать.

5.4. Если номинальная толщина стенки штуцера или присоединенной трубы равна $t_{0b} + C$ и отсутствуют накладки, следует принимать $\Sigma A = 0$. В этом случае диаметр отверстия должен быть не более вычисленного по формуле

$$d_0 = \left(\frac{2}{\varphi_0} - 1,75 \right) \sqrt{(D_e - t)(t - C)}. \quad (40)$$

Коэффициент недогрузки магистрали или корпуса тройника следует определять по формуле

$$\varphi_0 = \frac{P[D_e - (t - C)]}{2[\sigma^{20}]_t(t - C)} \quad (41)$$

или

$$\varphi_0 = \frac{P_y[D_e - (t - C)]}{2[\sigma^{20}](t - C)} \quad (41a)$$

5.5. Укрепляющую площадь штуцера (см. черт. 3, *a*) следует определять по формуле

$$A_b = 2(t_b - C - t_{0b})\sqrt{(d_e - t_b)(t_b - C)}. \quad (42)$$

5.6. Для штуцеров, пропущенных внутрь магистрали на глубину h_{b1} (черт. 4, *б*), укрепляющую площадь следует вычислять по формуле

$$A_{b2} = A_{b1} + A_b. \quad (43)$$

Величину A_b следует определять по формуле (42), а A_{b1} - как наименьшее из двух значений, вычисленных по формулам:

$$A_{b1} = 2h_{b1}(t_b - C); \quad (44)$$

$$A_{b1} = 2(t_b - C)\sqrt{(d_e - t_e)(t_b - C)}. \quad (45)$$

$$\sigma = \frac{P \left[D_e - (t - C) \right]}{2 \varphi_d (t - C)} \quad (53)$$

Расчетное напряжение штуцера следует определять по формулам (14) и (15).

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

5.16. Допустимое внутреннее давление в магистрали следует определять по формуле

$$[P] = \frac{2 \left[\sigma^{20} \right] \varphi_d A_t (t - C)}{D_e - (t - C)}. \quad (54)$$

6. ПЛОСКИЕ КРУГЛЫЕ ЗАГЛУШКИ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ЗАГЛУШКИ

6.1. Расчетную толщину плоской круглой заглушки (черт. 5, а, б) следует определять по формуле

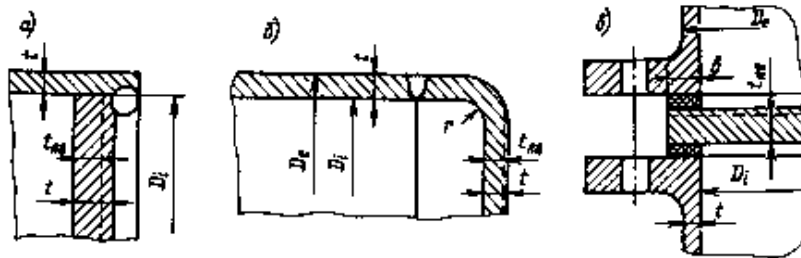
$$t_{R8} = \gamma_1 (D_i - r) \sqrt{\frac{P}{\left[\sigma^{20} \right] A_t}} \quad (55)$$

или

$$t_{R8} = \gamma_1 (D_i - r) \sqrt{\frac{P y}{\left[\sigma^{20} \right]}}, \quad (56)$$

где $\gamma_1 = 0,53$ при $r=0$ по черт.5,а;

$\gamma_1 = 0,45$ по черт.5,б.



Черт. 5. Круглые плоские заглушки

а - пропущенная внутрь трубы; б - приваренная к торцу трубы;

в - фланцевая

6.2. Расчетную толщину плоской заглушки между двумя фланцами (черт.5,в) следует определять по формуле

$$t_{R9} = 0,41 (D_i + b) \sqrt{\frac{P}{\left[\sigma^{20} \right] A_t}} \quad (57)$$

или

$$t_{R9} = 0,41 (D_i + b) \sqrt{\frac{P y}{\left[\sigma^{20} \right]}}. \quad (58)$$

Ширина уплотнительной прокладки b определяется по стандартам, техническим условиям или чертежу.

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

6.3. Допустимое внутреннее давление для плоской заглушки (см. черт. 5,а,б) следует определять по формуле

$$[P =] \frac{[\sigma^{20}] A_t (t - C)^2}{\gamma_1^2 (D_i - r)^2}. \quad (59)$$

6.4. Допустимое внутреннее давление для плоской заглушки между двумя фланцами (см. черт.5,6) следует определять по формуле

$$[P =] \frac{[\sigma^{20}] A_t (t - C)}{0,17 (D_i + b)^2}. \quad (60)$$

7. ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ ЗАГЛУШКИ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ БЕСШОВНОЙ ЗАГЛУШКИ

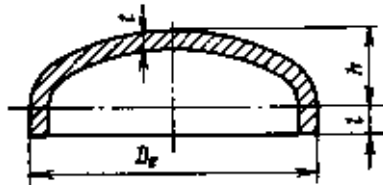
7.1. Расчетную толщину стенки бесшовной эллиптической заглушки (черт.6) при $0,5 \geq h/D_e \geq 0,2$ следует вычислять по формуле

$$t_{R10} = \frac{PD^2}{8A_t h [\sigma^{20}]} \quad (61)$$

или

$$t_{R10} = \frac{P D^2}{8h [\sigma^{20}]} \cdot \quad (62)$$

Если t_{R10} получается менее t_R при $\varphi = 1,0$ следует принимать $t_{R10} = t_R$.



Черт. 6. Эллиптическая заглушка

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ЗАГЛУШКИ С ОТВЕРСТИЕМ

7.2. Расчетная толщина заглушки с центральным отверстием при $d/D_e - 2t \leq 0,6$ (черт.7) определяется по формуле

$$t_{R11} = \frac{PD^2}{8A_t h [\sigma^{20}] \varphi_d} \quad (63)$$

или

$$t_{R11} = \frac{P D^2}{8h [\sigma^{20}] \varphi_d}. \quad (64)$$

РАСЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

1. Проверочный расчет трубопровода на дополнительные нагрузки следует выполнять с учетом всех расчетных нагрузок, воздействий и реакций опор после выбора основных размеров.
2. Расчет статической прочности трубопровода следует производить в два этапа: на действие несамобалансированных нагрузок (внутреннего давления, веса, ветровой и снеговой нагрузок и т.п.) - этап 1, а также с учетом температурных перемещений - этап 2. Расчетные нагрузки следует определять в соответствии с пп. 1.3. - 1.5.
3. Внутренние силовые факторы в расчетных сечениях трубопровода следует определять методами строительной механики стержневых систем с учетом гибкости отводов. Арматура принимается абсолютно жесткой.
4. При определении усилий воздействия трубопровода на оборудование при расчете на этапе 2 необходимо учитывать монтажную растяжку.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ

5. Окружные напряжения σ от внутреннего давления следует принимать равными расчетным напряжениям, вычисленным по формулам разд. 2-7.
6. Напряжение от дополнительных нагрузок следует подсчитывать по номинальной толщине стенки. Выбранной при расчете на внутреннее давление.
7. Осевые и касательные напряжения от действия дополнительных нагрузок следует определять по формулам:

$$\sigma_{zMN} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{A_t W} + \frac{|N|}{A_p A_t}; \quad (1)$$

$$\tau = \frac{T}{2 A_t W}. \quad (2)$$

8. Эквивалентные напряжения на этапе 1 расчета следует определять по формуле

$$\sigma_{eq} = \sqrt{0,75\sigma^2 + 0,64\sigma_{zMN}^2 + 3\tau^2}. \quad (3)$$

9. Эквивалентные напряжения на этапе 2 расчета следует вычислять по формуле

$$\sigma_{eq} = \sqrt{0,75\sigma^2 + \sigma_{zMN}^2 + 3\tau^2}. \quad (4)$$

РАСЧЕТ ДОПУСТИМЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

10. Величина приведенных к нормальной температуре эквивалентных напряжений не должна превышать: при расчете на несамобалансированные нагрузки (этап 1)

$$\sigma_{eq} \leq 1,1[\sigma^{20}]; \quad (5)$$

- при расчете на несамобалансированные нагрузки и самокомпенсацию (этап 2)

$$\sigma_{eq} \leq 1,5[\sigma^{20}]. \quad (6)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТУ

1. Метод расчета на выносливость, установленный в настоящем Пособии, следует применять для трубопроводов из углеродистой и марганцовистой сталей при температуре стенки не более 400°C, а для трубопроводов из сталей других марок, перечисленных в табл. 2, - при температуре стенки до 450°C. При температуре стенки свыше 400°C в трубопроводах из углеродистой и марганцовистой сталей расчет на выносливость следует выполнять по ОСТ 108.031.09-85.
2. Расчет на выносливость является проверочным, и его следует выполнять после выбора основных размеров элементов.

3. В расчете на выносливость необходимо учитывать изменения нагрузки за весь период эксплуатации трубопровода. Напряжения следует определять для полного цикла изменения внутреннего давления и температуры транспортируемого вещества от минимального до максимального значений.

4. Внутренние силовые факторы в сечениях трубопровода от расчетных нагрузок и воздействий следует определять в пределах упругости методами строительной механики с учетом повышенной гибкости отводов и условий нагружения опор. Арматуру следует считать абсолютно жесткой.

5. Коэффициент поперечной деформации принимается равным 0,3. Значения температурного коэффициента линейного расширения и модуля упругости стали следует определять по справочным данным.

РАСЧЕТ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

6. Амплитуду эквивалентных напряжений в расчетных сечениях прямых труб и отводов с коэффициентом $\lambda \geq 1,0$ следует определять по формуле

$$\sigma_{a,eq} = 0,8\sqrt{0,75\sigma^2 + \sigma_{zMN}^2 + 3\tau^2}, \quad (1)$$

где σ_{zMN} и τ вычисляются по формулам (1) и (2) прил. 1.

7. Амплитуду эквивалентного напряжения в отводе с коэффициентом $\lambda < 1,0$ следует определять как максимальное значение из четырех, вычисленных по формулам:

$$\sigma_{a,eq} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2A_t W} \sqrt{\left[\xi M_x + M_{eq} \gamma_m + M_y \beta_m + 0,8A_t W \sigma \right]^2 + T^2}; \\ \frac{1}{2A_t W} \sqrt{\left[\xi M_x + M_{eq} \beta_m + M_y \gamma_m + 0,8A_t W \sigma \right]^2 + T^2}; \\ \frac{1}{2A_t W} \sqrt{\left[\xi M_x + M_{eq} \gamma_m + 1,6A_t W \sigma \right]^2 + T^2}; \\ \frac{1}{2A_t W} \sqrt{\left[\xi M_y \gamma_m + 1,6A_t W \sigma \right]^2 + T^2}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Здесь коэффициент ξ следует принимать равным 0,69 при $M_x > 0$ и $\left| \frac{M_{eq}}{M_x} \right| > 0,85$, в остальных случаях - равным 1,0.

Коэффициенты γ_m и β_m находятся соответственно по черт. 1,а,б, а знаки M_x и M_y определяются указанным на черт. 2 положительным направлением.

Величину M_{eq} следует вычислять по формуле

$$M_{eq} = -\frac{PWRD_e a_R}{50(D_e - t)t}, \quad (3)$$

где a_R - определяются в соответствии с п. 3.3. При отсутствии данных о технологии изготовления отводов допускается принимать $a_R = 1,6a$.

8. Амплитуды эквивалентных напряжений в сечениях А-А и Б-Б тройника (черт. 3,б) следует вычислять по формуле

$$\sigma_{a,eq} = \sqrt{2,95\sigma^2 + \left(\xi \sigma_{zMN} \right)^2 - 0,8\xi\sigma\sigma_{zMN} + 3\tau^2}, \quad (4)$$

где коэффициент ξ принимается равным 0,69 при $\sigma_{zMN} > 0$ и $\sigma_{zMN}/\sigma < 0,82$, в остальных случаях - равным 1,0.

Величину σ_{zMN} следует вычислять по формуле

$$\sigma_{zMN} = \frac{M_x \sin \beta - M_y \cos \beta}{A_t W} + \frac{N}{A_t A_p}, \quad (5)$$

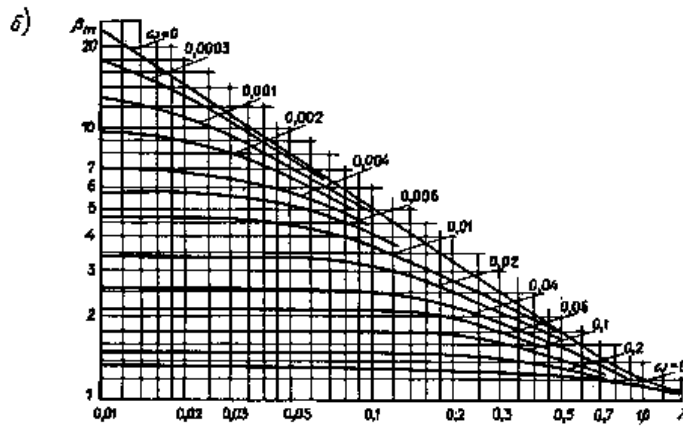
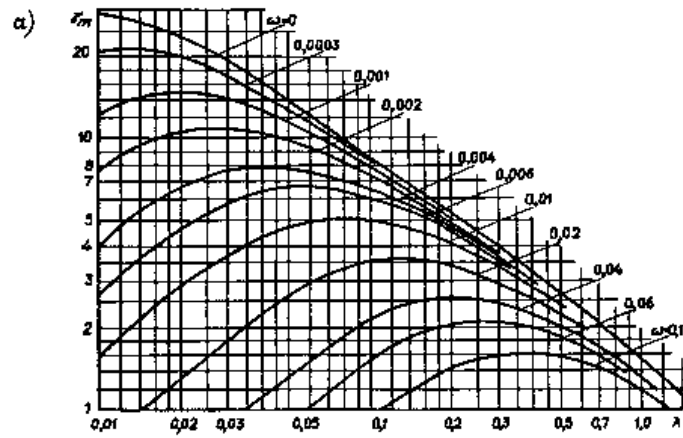
где β - угол наклона оси штуцера к плоскости xz (см. черт. 3,а).

Положительные направления изгибающих моментов показаны на черт. 3,а. Значение τ следует определять по формуле (2) прил. 1.

9. Для тройника с $D_e/d_e \leq 1,1$ следует дополнительно определять в сечениях А-А, Б-Б и В-В (см. черт. 3,б) амплитуду эквивалентных напряжений по формуле

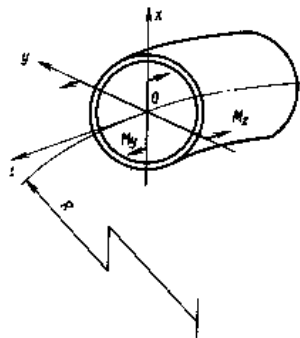
$$\sigma_{a,eq} = \frac{1}{2A_t W} \sqrt{\left(\gamma_m \sqrt{M_x^2 + M_y^2} + A_t W \sigma\right)^2 + T^2} \quad (6)$$

Величину γ_m следует определять по черт. 1,а.

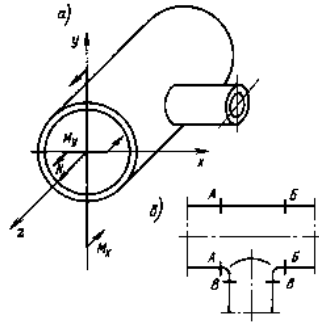


Черт. 1. К определению коэффициентов γ_m (а) и β_m (б)

при $\omega = 3,64 \frac{P}{E_t t (D_e - t)} \frac{R^2}{(D_e - t)^2}$ и $\lambda = \frac{4R_t}{(D_e - t)^2}$



Черт. 2. Расчетная схема отвода



Черт. 3. Расчетная схема тройникового соединения

а - схема нагружения;

б - расчетные сечения

РАСЧЕТ ДОПУСКАЕМОЙ АМПЛИТУДЫ ЭКВИВАЛЕНТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

10. Выносливость трубопровода следует считать обеспеченной, если выполняется условие

$$\sigma_{a,eq} \leq [\sigma_a]. \quad (7)$$

11. Допускаемую амплитуду напряжений следует подсчитывать по формулам: для трубопроводов из углеродистой и легированной неаустенитной сталей

$$[\sigma_a] = \frac{84}{\gamma} \left(1 + 1200 N_c^{-0,533}\right)^{0,625}; \quad (8)$$

или трубопроводов из аустенитной стали

$$[\sigma_a] = \frac{120}{\gamma} \left(1 + 1000 N_c^{-0,533}\right)^{0,625}. \quad (9)$$

12. Расчетное число полных циклов нагружения трубопровода следует определять по формуле

$$N_c = N_{c0} + \sum_{i=1}^{n_c} \left[\frac{(\sigma_{aei}/\sigma_{a0})^{1,6} - 1}{(\sigma_{a,eq}/\sigma_{a0})^{1,6} - 1} \right]^{1,875} N_{ci}; \quad (10)$$

где N_{c0} - число полных циклов нагружения с амплитудами эквивалентных напряжений $\sigma_{a,eq}$;

n_c - число ступеней амплитуд эквивалентных напряжений $\sigma_{a,ei}$ с числом циклов N_{ci} .

Предел выносливости σ_{a0} следует принимать равным $84/\gamma$ для углеродистой, неаустенитной стали и $120/\gamma$ - для аустенитной стали.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

A_T - температурный коэффициент;

A_p - площадь поперечного сечения трубы, мм²;

A_n, A_b - укрепляющие площади накладки и штуцера, мм²;

a, a_0, a_R - относительная овальность соответственно нормативная, добавочная, расчетная, %;

b_n - ширина накладки, мм;

b - ширина уплотнительной прокладки, мм;

C, C_1, C_2 - прибавки к толщине стенки, мм;

D_i, D_e - внутренний и наружный диаметры трубы, мм;

d - диаметр отверстия "в свету", мм;

d_0 - допускаемый диаметр неукрепленного отверстия, мм;

d_{eq} - эквивалентный диаметр отверстия при наличии радиусного перехода, мм;

E_t - модуль упругости при расчетной температуре, Мпа;

h_b, h_{b1} - расчетная высота штуцера, мм;

h - высота выпуклой части заглушки, мм;

k_i - коэффициент увеличения напряжений в отводах;

L, l - расчетная длина элемента, мм;
 M_x, M_y - изгибающие моменты в сечении, Н·мм;
 M_{eq} - изгибающий момент от овальности, Н·мм;
 N - осевое усилие от дополнительных нагрузок, Н;
 N_c, N_{cp} - расчетное число полных циклов нагружения трубопровода соответственно внутреннего давления и дополнительных нагрузок, внутреннего давления от 0 до P ;
 N_{c0}, N_{cp0} - число полных циклов нагружения трубопровода соответственно внутреннего давления и дополнительных нагрузок, внутреннего давления от 0 до P ;
 N_{ci}, N_{cpi} - число циклов нагружения трубопровода соответственно с амплитудой эквивалентного напряжения σ_{aei} , с размахом колебания внутреннего давления ΔP_i ;
 n_c - число уровней изменения нагрузок;
 n_b, n_y, n_z - коэффициенты запаса соответственно по временному сопротивлению, по пределу текучести, по пределу длительной прочности;
 $P, [P], P_y, \Delta P_i$ - внутреннее давление соответственно расчетное, допустимое, условное; размах колебаний i -го уровня, Мпа;
 R - радиус кривизны осевой линии отвода, мм;
 r - радиус скругления, мм;
 $R_b, R_{0,2}, R_b^{20}, R_{0,2}^{20}$ - временное сопротивление и условный предел текучести соответственно при расчетной температуре, при комнатной температуре, Мпа;
 R_z - предел длительной прочности при расчетной температуре, Мпа;
 T - крутящий момент в сечении, Н·мм;
 t - номинальная толщина в стенке элемента, мм;
 t_0, t_{0b} - расчетные толщины стенок магистрали и штуцера при $\square\phi_w = 1,0$, мм;
 t_R, t_{Ri} - расчетные толщины стенок, мм;
 t_d - расчетная температура, °С;
 W - момент сопротивления поперечного сечения при изгибе, мм³;
 α, β, θ - расчетные углы, град;
 β_m, γ_m - коэффициенты интенсификации продольных и кольцевых напряжений в отводе;
 γ - коэффициент надежности;
 γ_1 - расчетный коэффициент для плоской заглушки;
 Δ_{min} - минимальный расчетный размер сварного шва, мм;
 λ - коэффициент гибкости отвода;
 ξ - коэффициент приведения;
 ΣA - сумма укрепляющих площадей, мм²;
 σ - расчетное напряжение от внутреннего давления, приведенное к нормальной температуре, Мпа;
 $\sigma_{a,eq}, \sigma_{aei}$ - амплитуда эквивалентного напряжения, приведенная к нормальной температуре, соответственно полного цикла нагружения, i -й ступени нагружения, Мпа;
 σ_{eq} - эквивалентное напряжение, приведенное к нормальной температуре, Мпа;
 $\sigma_{\bar{0}} = 2\sigma_{a0}$ - предел выносливости при отнулевом цикле нагружения, Мпа;
 σ_{zMN} - осевое напряжение от дополнительных нагрузок, приведенное к нормальной температуре, Мпа;
 $[\sigma], [\sigma]^{20}, [\sigma]_d$ - допускаемое напряжение в элементах трубопровода соответственно при расчетной температуре, при нормальной температуре, при расчетной температуре для укрепляющих деталей, Мпа;
 τ - касательное напряжение в стенке, Мпа;
 ϕ, ϕ_d, ϕ_w - расчетные коэффициенты прочности соответственно элемента, элемента с отверстием, сварного шва;
 ϕ_0 - коэффициент недогрузки элемента;
 ω - параметр внутреннего давления.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

1. Общие положения
2. Трубы под внутренним давлением
3. Отводы под внутренним давлением
4. Переходы под внутренним давлением
5. Тройниковые соединения под внутренним давлением
6. Плоские круглые заглушки под внутренним давлением
7. Эллиптические заглушки под внутренним давлением

Приложение 1. Основные положения поверочного расчета трубопровода на дополнительные нагрузки.

Приложение 2. Основные положения поверочного расчета трубопровода на выносливость.

Приложение 3. Основные буквенные обозначения величин.