

ФЛАНЦЫ ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ ИЗ ТИТАНА

Нормы и методы расчета на прочность
и герметичность

РД 26-01-163 -87

УкрНИИхиммаш

г.Харьков

1987

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

ФЛАНЦЫ ТРУБОПРОВОДОВ
И АРМАТУРЫ ИЗ ТИТАНА

РД 26-01-163-87

Нормы и методы расчета
на прочность и герметичность

ОКСТУ 3603

Дата введения 01.07.88

Настоящий руководящий документ устанавливает нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений трубопроводов, штуцеров, люков и арматуры для сосудов и аппаратов из титана и титановых сплавов, работающих в условиях воздействия статических и повторно-статических нагрузок.

Руководящий документ применим при соблюдении требований ОСТ 26-11-06-85, ОСТ 26-01-279-78, ОСТ 26-01-1298-81, РД РТМ 26-01-133-81.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Термины и условные обозначения соответствующих им физических величин применяют в документе в соответствии со справочным приложением.

I.2. Типы фланцевых соединений приведены на черт. I,2,3.

Примечание. Чертеж не определяет конструкцию и предназначен для пояснения расчетных зависимостей.

I.3. Для фланцев по черт. I,2 расчетные формулы применимы при

$$\frac{2 \cdot h}{D_n - D} \leq 0,66.$$

Для фланцев по черт.3 расчетные формулы применимы при

$$\frac{D_n}{D} \leq 2 \text{ и } \frac{2 \cdot h}{D_n - D} \geq 0,25.$$

I.4. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках проводят после определения основных размеров фланцевых соединений в соответствии с ГОСТ 12820-80 - ГОСТ 12822-80 или другими нормами проектирования и расчета статической прочности по разд. 6-8.

I.5. При расчете на прочность при малоцикловых нагрузках учитывают следующие циклы нагружения:

1) циклы нагружения N_c , вызванные сборками-разборками (нагрузка $P_{ср}$);

2) циклы нагружения N_p , вызванные пусками и остановами или изменениями режима эксплуатации (приращение нагрузки ΔP_c).

I.6. При определении числа циклов, вызванных приращением нагрузки, не учитываются нагрузки, величина которых не превышает 15% от $P_{ср}$.

I.7. Расчетная температура элементов фланцевого соединения устанавливается в соответствии с данными табл. I.

Тип фланцевого соединения	Изолированные			Неизолированные		
	t_{φ}	t_{κ}	t_{σ}	t_{φ}	t_{κ}	t_{σ}
Плоские Приварные в стык	t	-	$0,97t$	$0,96t$	-	$0,85t$
Со свободными кольцами	t	$0,87t$	$0,9t$	$0,96t$	$0,9t$	$0,81t$

2. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

2.1. Допускаемое напряжение для стальных болтов (шпилек) определяется по формуле

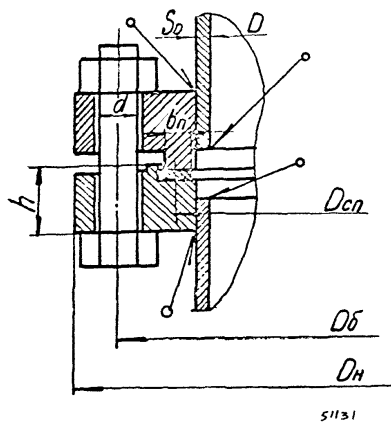
$$[\sigma]_{\sigma} = \frac{\sigma_{r,\sigma}}{n_r},$$

где $\sigma_{r,\sigma}$ — определяется по ОСТ 26-01-1298-81 или другой нормативной документации;

n_r — определяется по табл.2.

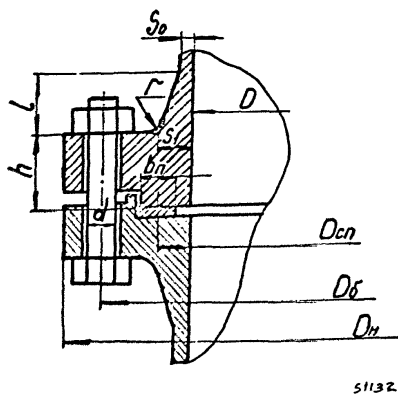
Для условий предварительного затяга при $t = 20^{\circ}\text{C}$ величина $[\sigma]_{\sigma}^{20}$ может быть увеличена не более, чем на 20%.

Соединение с плоскими фланцами



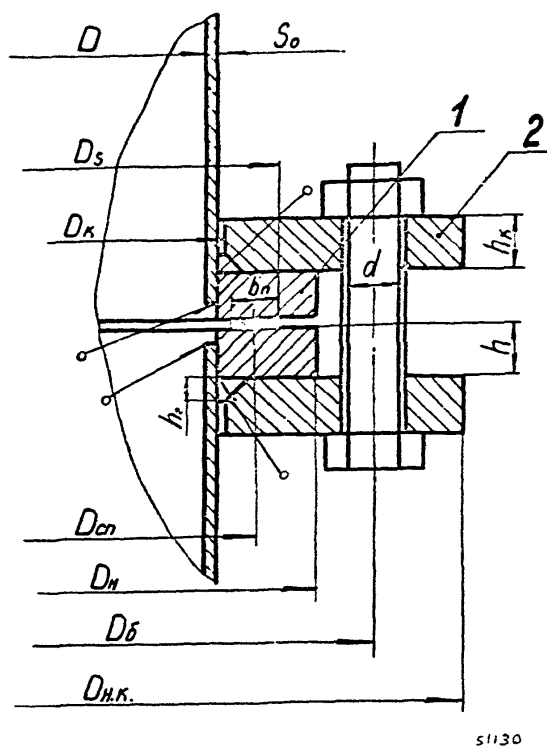
Черт. I

Соединение с фланцами приварными в стык



Черт. 2

Соединение со свободными кольцами



1 - фланец; 2 - свободное кольцо

Черт. 3

Таблица 2

Отношение предела текучести к временному сопротивлению		σ_T	
		затяжка не кон- тролируется	затяжка кон- тролируется
$\frac{\sigma_{т.б.}}{\sigma_{в.б.}} \geq 0,7$		2,8	2,4
$\frac{\sigma_{т.б.}}{\sigma_{в.б.}} < 0,7$	углеродистые стали	2,3	2,1
	нержавеющие стали	1,9	1,8

2.2. Допускаемое напряжение для кольца свободного фланца
(черт.3)

$$[\sigma]_{кк} = \sigma_{тк}$$

$\sigma_{тк}$ - принимается по ОСТ 26-II-04-84 или другой нормативной документации.

2.3. При расчете статической прочности фланцев допускаемые напряжения в сечении $S, ([\sigma])$ и сечении $S_0 ([\sigma])$ принимаются по табл.3.

Таблица 3

Тип фланцев	Сечения	
	$S,$	S_0
Плоские, рис.1	-	$0,8 \sigma_T$
Приварные в стык, рис.2	$1,3 [\sigma]$	
Со свободным коль- цом, рис.3	-	

где $[\sigma]$ и σ_T - принимаются по ОСТ 26-01-279-78

3. РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

3.1. Эффективная ширина прокладки, мм

$$b_0 = b_n \quad \text{при} \quad b_n \leq 15$$

$$b_0 = 3,8\sqrt{b_n} \quad \text{при} \quad b_n > 15$$

3.2. Характеристики прокладки m ; $q_{обж}$; $[q]$; K ; ν_n ; E_n принимаются по табл.4.

3.3. Податливость прокладки, мм/Н

$$\chi_n = \frac{h_n \cdot K}{E_n \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_n}$$

3.4. Угловая жесткость прокладки, мм.Н

$$K_n = \frac{D_{cn} \cdot b_n^3 \cdot E_n}{12(1-\nu_n^2) \cdot h_n}$$

3.5. Расчетная длина болта (шпильки), мм

$$L_0 = L_{00} + 0,28d \quad - \text{ для болта,}$$

$$L_0 = L_{00} + 0,56d \quad - \text{ для шпильки.}$$

3.6. Податливость болтов (шпилек), мм/Н

$$\chi_0 = \frac{L_0}{E_0 \cdot f_0 \cdot Z}$$

где f_0 - принимается по табл.5.

3.7. Изгибная жесткость болтов (шпилек), мм.Н

$$K_0 = \frac{K_0 \cdot d^4 \cdot E_0 \cdot Z}{64 \cdot L_0}$$

где $K_0 = 0,1$ - для фланцев по черт.1,2;

$K_0 = 0,3 - 0,5$ - для фланцев по черт.3.

Таблица 4

Материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия, К	Коэффициент Пуассона, ν_n	Условный модуль сжатия $E_{II} \times 10^{-5}$, МПа
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,04	0,45	$0,3 \cdot 10^{-4} \times \left(1 + \frac{b_n}{2 h_n}\right)$
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	0,45	$0,4 \cdot 10^{-4} \times \left(1 + \frac{b_n}{2 h_n}\right)$
* Паронит по ГОСТ 481-80 при толщине не больше 2 мм	2,5	20,0	130,0	0,90	0,40	0,02
Картон асбестовый по ГОСТ 2650-80 при толщине I - 3 мм	2,5	20,0	130,0	0,90	0,40	0,02
Фторопласт-4 ТУ 6-05-810-76 при толщине I - 3 мм	2,5	10,0	40,0	1,00	0,50	0,02

* Примечание. Для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжатые газы и т.п.) $q_{обж} = 35,0$ МПа

Таблица 5

Диаметр болта d , мм	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36	M42	M48
Площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы f_s , мм ²	52,2	76,2	144,0	225,0	324,0	430,0	520,0	760,0	1045,0	1380,0

3.8. Параметры фланца*

3.8.1. Эквивалентная толщина втулки, мм

$$S_g = K S_o$$

где K - определяется по черт.4

Для фланцев по черт.1, 3

$$S_g = S_o$$

3.8.2. Коэффициенты

Коэффициент A_o определяется при $Z \leq 8$

$$A_o = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left[\frac{Z}{2} \lambda_1^{2Zn} \left(\frac{2}{Zn} - \frac{\lambda_1^2}{Zn+1} - \frac{\lambda_1^{-2}}{Zn-1} \right) + \frac{1}{n} \frac{1}{(Zn)^2 - 1} \right]$$

где

$$\lambda_1 = \frac{D}{D_g}$$

A_1, A_3, A_4 - определяются по черт.5, 6 или по формулам:

$$A_1 = \frac{2(D_n - D)}{(2K_1 - 0,62) \cdot D \cdot L_n \frac{D}{D_n}},$$

где

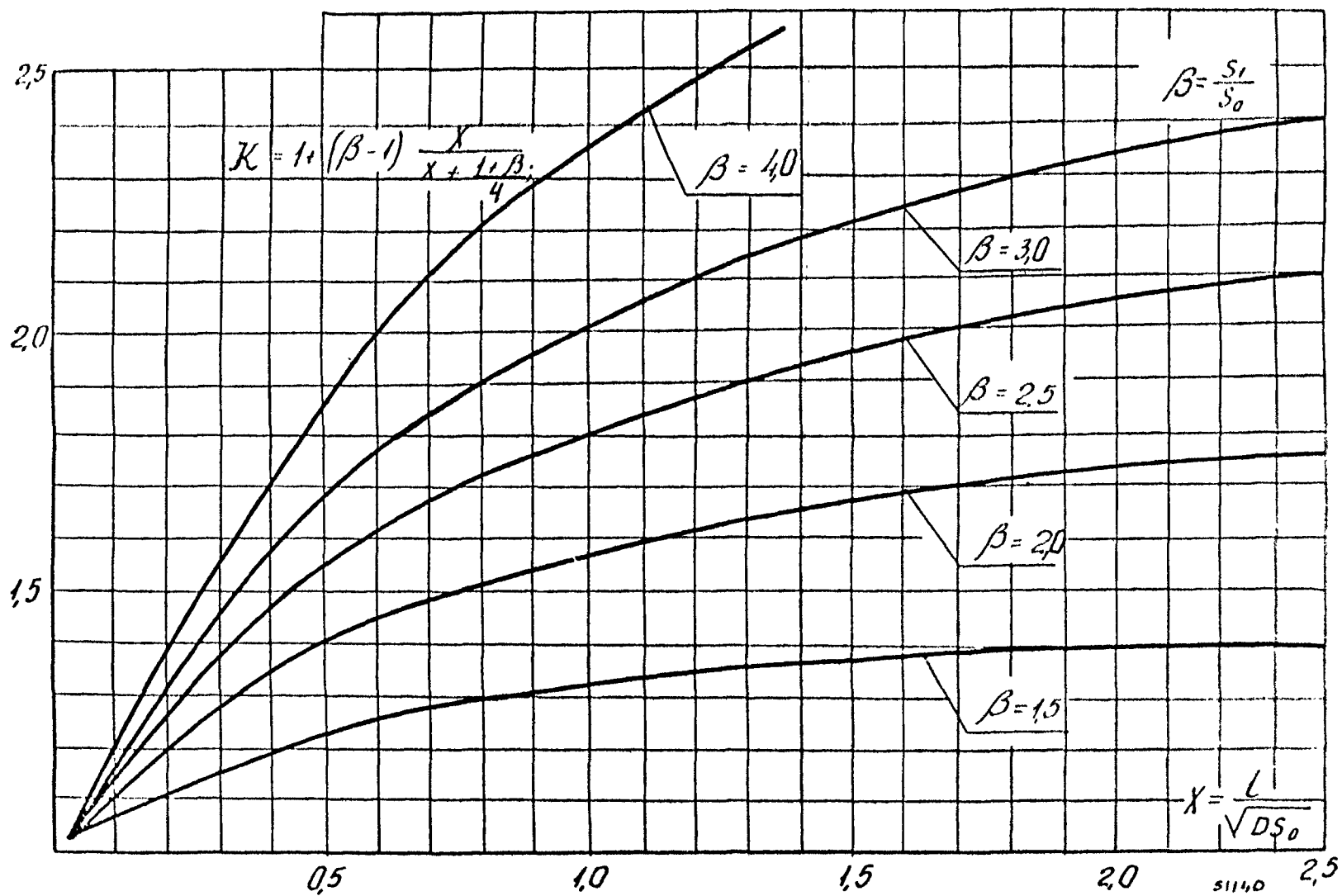
$$K_1 = \frac{1,38}{1 - \left(\frac{D}{D_n}\right)^2} \cdot L_n \frac{D}{D_n},$$

$$A_2 = \frac{2}{1 + A_3 \cdot \lambda_2},$$

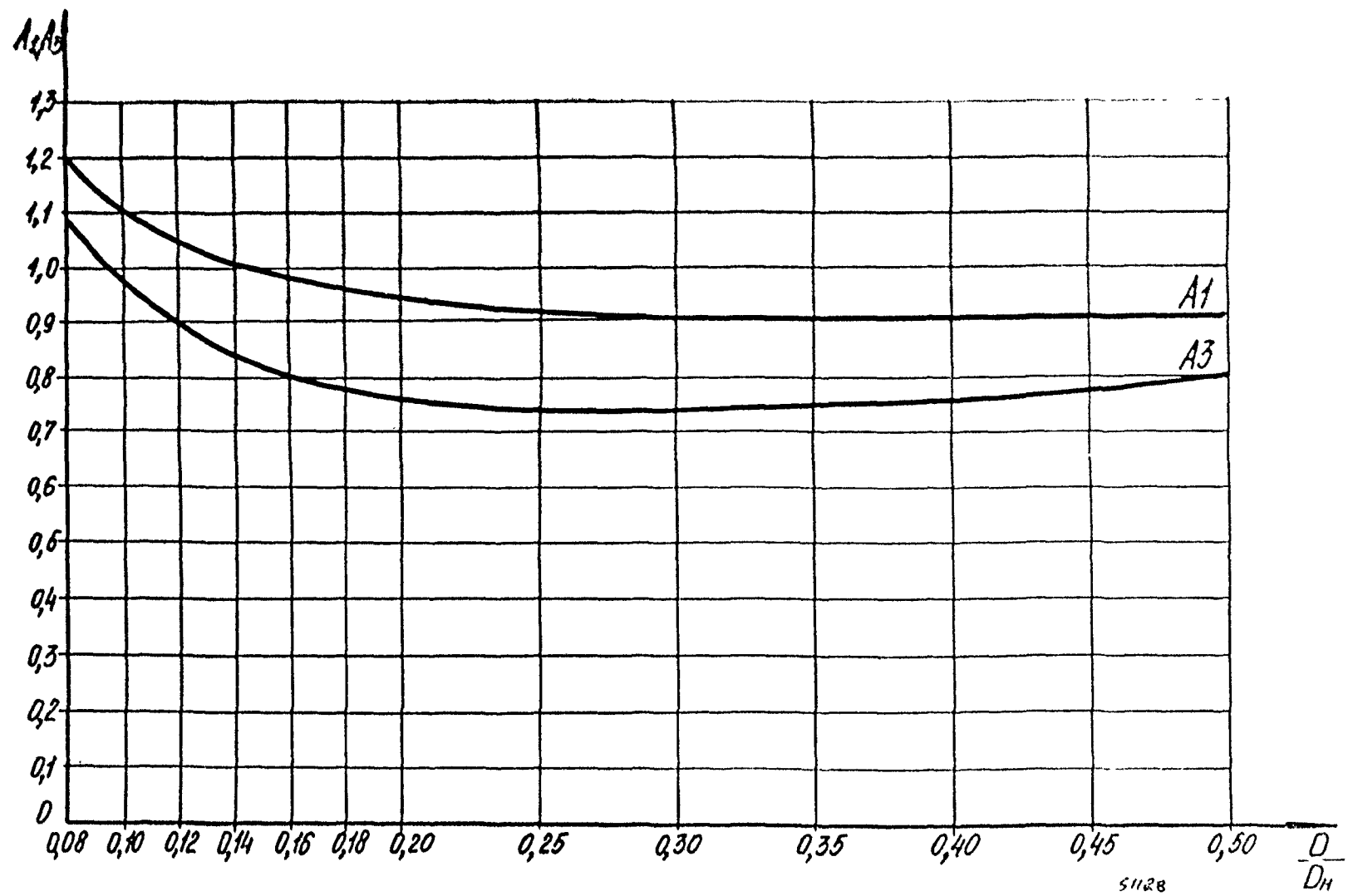
$$A_3 = \frac{0,725(1 - K_1) - 1,613 K_1 \left(\frac{D}{D_n}\right)^2 + L_n \frac{D}{D_n}}{[0,725(1 - K_1) - 1,613 K_1] \frac{D}{D_n}},$$

$$\lambda_2 = \left(\frac{h}{h_n}\right)^3,$$

* В случае соединения с разными фланцами расчет следует производить для каждого фланца

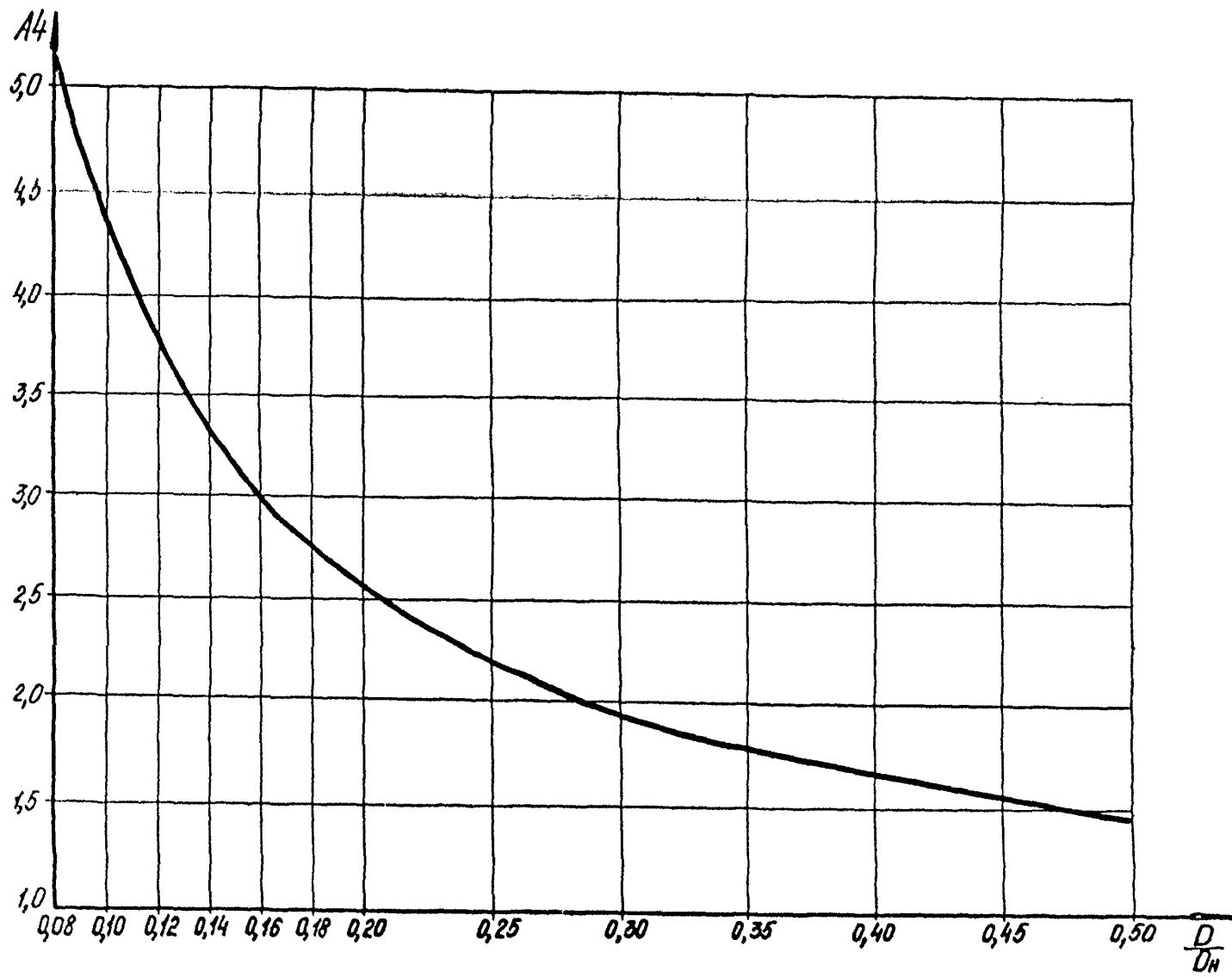


Черт. 4



Черт. 5

РМ 26-01-133-27 0.12



Черт. 6

$$f_{i_4} = \frac{\left[1 - \left(\frac{D}{D_n}\right)^2\right] (D_n + D)}{2 \frac{D}{D_n} \left[1,38 + 0,62 \left(\frac{D}{D_n}\right)^2\right] (D_n - D)}$$

При $\frac{D_n}{D} \leq 2 \quad \vee \quad \frac{2 \cdot h}{D_n - D} > 0,25$

$$A_I = I, \quad A_3 = I, \quad A_4 = I, \quad A_2 = I$$

$$\beta = \frac{1,79}{\sqrt{D \cdot S_0}}$$

ψ_i - принимается по черт.7.

$$\gamma = \frac{D \cdot (D_n + D)}{4(D_n - D) \cdot h \cdot A_4}$$

Для фланцев по черт.2

$$\lambda = 0,38 \frac{I + \beta \cdot h}{\beta^2 \cdot D}; \quad \rho = \frac{\pi \cdot D (1 + \beta \cdot h) \left(1 - \frac{2S_0}{D_n - D}\right)}{2 \cdot \beta^2};$$

Для фланцев по черт.І,3

$$\lambda = 0,19 \cdot D \cdot K_2; \quad \rho = \pi \cdot D \cdot K_2 \left(\frac{D^2}{4} - \gamma \cdot h \cdot S_0\right),$$

где K_2 - определяется по табл.6.

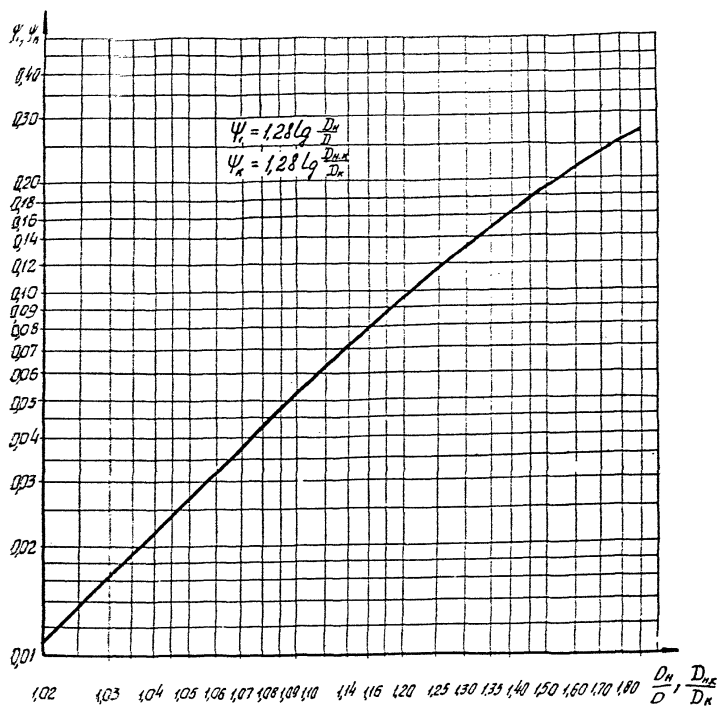


Таблица 6

$\frac{h}{S_0}$	K_2 при соотношении $\frac{S_0}{D}$												
	0,0050	0,0075	0,0100	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,1000	0,1200
2	0,0040	0,0062	0,0085	0,0108	0,0137	0,0196	0,0214	0,0240	0,0279	0,0762	0,1452	0,2144	0,2857
3	0,0043	0,0069	0,0094	0,0120	0,0154	0,0221	0,0242	0,0273	0,0318	0,0886	0,1835	0,2763	0,3622
4	0,0047	0,0075	0,0103	0,0133	0,0171	0,0246	0,0270	0,0306	0,0357	0,1011	0,2199	0,3352	0,4421
5	0,0050	0,0081	0,0112	0,0145	0,0188	0,0271	0,0298	0,0338	0,0396	0,1136	0,2555	0,3928	0,5204
6	0,0054	0,0087	0,0121	0,0158	0,0204	0,0296	0,0327	0,0371	0,0435	0,1260	0,2907	0,4497	0,5977
7	0,0057	0,0093	0,0130	0,0170	0,0221	0,0321	0,0355	0,0404	0,0474	0,1384	0,3256	0,5062	0,6745

3.8.3. Угловая податливость фланцев, $\frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$

по черт.1, 3

$$U_{\varphi} = \frac{6}{E h^3 \psi_1 A_1 + 0,5844 \beta D E S_2^3 [C_1 + (C_1 + C_2) \frac{\beta h}{2} + C_2 \frac{\beta^2 h^2}{2}]};$$

по черт.2

$$U_{\varphi} = \frac{6}{E h^3 \psi_1 A_1 + 0,5844 \beta D \cdot E \cdot S_2^3 (1 + \beta h + \frac{\beta^2 h^2}{2})}$$

где

C_1 - определяется по табл.7;

C_2 - определяется по табл.8.

3.8.4. Угловая податливость фланцев при воздействии внешнего изгибающего момента и поперечной силы, $\frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$

$$U_{\theta} = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{E h^3} \cdot \frac{D_n + D}{D_n - D}$$

для фланцев по черт.1, 2

$$U_{\varphi n} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E \cdot D_n \cdot h^3}$$

для фланцев по черт.3

$$U_{\varphi n} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E \cdot D_n \cdot h^3},$$

$$U_{\varphi n c} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{\kappa} \cdot D_{n\kappa} \cdot h_{\kappa}^3}$$

3.8.5. Угловая жесткость фланцев, Н·мм

$$K_{\varphi} = \frac{1}{U_{\varphi}}.$$

3.8.6. Угловая податливость свободного кольца, $\frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$

$$U_{\kappa} = \frac{6}{E_{\kappa} \cdot h_{\kappa}^3 \cdot \psi_{\kappa}},$$

где ψ_{κ} - определяется по черт.5.

Таблица 7

$\frac{h}{s_0}$	C_I при соотношении $\frac{s_0}{D}$												
	0,0050	0,0075	0,0100	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,1000	0,1200
2	1,1548	1,1907	1,2276	1,2295	1,2789	1,4507	1,4153	1,4201	1,4652	1,3523	2,1720	2,3812	2,5683
3	1,1496	1,1831	1,2172	1,2169	1,2652	1,4411	1,4014	1,4037	1,4479	1,8262	2,2265	2,4526	2,6384
4	1,1449	1,1765	1,2083	1,2061	1,2536	1,4330	1,3899	1,3901	1,4338	1,8058	2,2521	2,4873	2,6771
5	1,1407	1,1706	1,2004	1,1967	1,2433	1,4262	1,3801	1,3787	1,4220	1,7895	2,2661	2,5068	2,6969
6	1,1369	1,1653	1,1935	1,1885	1,2350	1,4202	1,3718	1,3690	1,4120	1,7762	2,2744	2,5187	2,7122
	1,1334	1,1606	1,1874	1,1812	1,2274	1,4151	1,3645	1,3650	1,4034	1,7651	2,2795	2,5266	2,7210

Таблица 8

$\frac{h}{S_0}$	C_2 при соотношении $\frac{S_0}{D}$												
	0,0050	0,0075	0,0100	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,1000	0,1200
2	1,0345	1,0395	1,0401	1,0192	1,0575	1,2664	0,1868	1,1656	1,1993	1,4581	1,6383	1,7053	1,7804
3	1,0264	1,0288	1,0266	1,0047	1,0409	1,2446	1,1649	1,1426	1,1743	1,4161	1,6734	1,7542	1,8267
4	1,0196	1,0202	1,0159	0,9935	1,0281	1,2281	1,1485	1,1256	1,1560	1,3871	1,6822	1,7703	1,8450
5	1,0140	1,0130	1,0073	0,9845	1,0180	1,2152	1,1357	1,1125	1,1420	1,3658	1,6830	1,7756	1,8517
6	1,0091	1,0070	1,0002	0,9772	1,0098	1,2048	1,1255	1,1021	1,1309	1,3495	1,6810	1,7766	1,8536
7	1,0049	1,0019	0,9942	0,9710	1,0030	1,1963	1,1172	1,0936	1,1220	1,3366	1,6781	1,7759	1,8536

3.8.7. Угловая жесткость свободного кольца, Н·мм

$$K_k = \frac{I}{J_k}$$

3.8.8. Угловая податливость плоской крышки, 1/Н·мм

$$U_{кр} = \frac{X_{кр}}{E \cdot \delta_{кр}^3},$$

где

$$K_2 = \frac{D_H}{D_{сн}}$$

$$X_{кр} = \frac{0,592 \{ K_2^2 \cdot [1 + 10,25 \lg K_2] - 1 \}}{(K_2 - 1) \{ K_2^2 - 1 + [2,23 K_2^2 + 1] \frac{\delta_{сн}^2}{\delta^3} \}}$$

3.8.9. Угловая жесткость крышки, мм

$$K_{кр} = \frac{1}{U_{кр}}$$

3.8.10. Плечи моментов, мм

Для фланцев по черт.1, 2

$$b = 0,5 (D_f - D_{сн})$$

$$e = 0,5 (D_{сн} - D - S_3)$$

Для фланцев по черт.3

$$a = 0,5 (D_f - D_s),$$

$$b = 0,5 (D_s - D_{сн}),$$

$$e = 0,5 (D_{сн} - D - S_3),$$

где

$$D_s = 0,5 (D_H + D_K + 2h_2)$$

4. КОЭФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

4.1. Фланцевое соединение, нагруженное внутренним давлением
и внешней осевой силой

Для соединения с одинаковыми фланцами

$$\phi = 1 - \frac{A_2 \cdot y_n - 2 y_p \cdot b \cdot e}{\eta_1},$$

где $\eta_1 = A_2 (y_n + y_p) + 2 y_p \cdot b^2$

Для соединения с разными фланцами или крышкой

$$\phi = 1 - \frac{A_2 \cdot y_n - (y_{p1} \cdot e_1 + y_{p2} \cdot e_2) \cdot b}{\eta_1},$$

где $\eta_1 = A_2 (y_n + y_p) + (y_{p1} + y_{p2}) \cdot b^2$

Для соединения по черт.3

$$\phi = 1,$$

$$\eta_1 = y_n + y_p + 2 y_p \cdot a^2 + 2 y_p \cdot b^2$$

4.2. Фланцевое соединение, нагруженное внешним изгибающим
моментом и внешней поперечной силой

$$\phi_M = -(1 + \beta_M), \quad \phi_T = -\beta_T,$$

где

$$\beta_M = \frac{2 y_{pM} \cdot b \cdot e \left(1 - \frac{e}{D_{en}}\right) - y_n \left(\frac{D_s}{D_{en}}\right)^2}{y_p + y_n \left(\frac{D_s}{D_{en}}\right)^2 + 2 y_{pM} \cdot b^2}$$

$$\beta_T = \frac{y_p \cdot h \cdot b}{0,5(y_p + y_n) + 2 y_p \cdot b^2}$$

для фланцев по черт.3

$$\beta_M = \frac{2 y_{pM} \cdot b \cdot e \left(1 - \frac{e}{D_{en}}\right) - y_n \left(\frac{D_s}{D_{en}}\right)^2}{y_p + y_{pM} \cdot a^2 + y_n \left(\frac{D_s}{D_{en}}\right)^2 + 2 y_{pM} \cdot b^2}$$

5. РАСЧЕТ НАГРУЗОК

5.1. Равнодействующая внутреннего давления, Н

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot p,$$

5.2. Реакция прокладки в рабочих условиях, Н

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot m \cdot p$$

5.3. Усилие, возникающее от температурных деформаций, Н

Для соединения по черт.1,2

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i} (\alpha_{\varphi} t_{\varphi} - \alpha_s t_s) L_{so},$$

где η_i - определяется по п.4.1.

Для соединения по черт.3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i} (2 \alpha_{\varphi} t_{\varphi} h + 2 \alpha_k t_k h_k - \alpha_s t_s L_{so}),$$

где η_i - определяется по п.4.1.

Для соединения с фланцами из разных материалов по черт.1,2

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i} [(\alpha_{\varphi_1} h_1 + \alpha_{\varphi_2} h_2) t_{\varphi} - \alpha_s t_s L_{so}]$$

Для соединения с фланцами из разных материалов по черт.3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i} [(\alpha_{\varphi_1} h_1 + \alpha_{\varphi_2} h_2) t_{\varphi} + 2 \alpha_k t_k h_k - \alpha_s t_s L_{so}]$$

5.4. Нагрузка, необходимая для равномерного обжатия прокладки при числе болтов $Z \geq 8$ для фланцев по черт.1,2, Н.

$$\Delta Q = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot \Delta q,$$

где

$$\Delta q = \frac{1,63 \cdot A_o \cdot b_o \cdot D_o^2 \cdot E_n}{h_n (D_o - D_{cn}) \cdot E \cdot h^3} \cdot \frac{P_{обж}}{Z},$$

$$P_{обж} = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot q_{обж} \cdot 0,5$$

5.5. Приращение нагрузки в болтах при воздействии внешнего изгибающего момента и поперечной силы, Н

$$\Delta Q_m = \beta_n \xi_\delta \cdot M \cos \varphi + 2 \beta_r T \cos 2\varphi,$$

где

$$\xi_\delta = \frac{4}{D_\delta}$$

$$\text{при } \beta_m > 0 \quad \varphi = 0$$

$$\text{при } \beta_m < 0 \quad \varphi = \pi$$

5.6. Болтовая нагрузка в условиях монтажа принимается большей из следующих значений, Н

$$P_{\delta_1} = \alpha(Q_g + F) + R_n - Q_r + \xi_n \alpha_n M \cos \varphi + 2 \alpha_r T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{\delta_1} = \alpha(Q_g + F) + R_n + \xi_n \alpha_n M \cos \varphi + 2 \alpha_r T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{\delta_1} = P_{\text{осн}}'$$

$$P_{\delta_1} = 24[\sigma]_\delta^{\text{то}} \cdot Z \cdot f_\delta \quad \text{при } p \leq 0,6 \text{ МПа}$$

$$\text{где } \xi_n = \frac{4}{D_{\text{сн}}} \quad ; \quad \varphi = \pi$$

5.7. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях, Н

$$\Delta P_\varepsilon = (1 - \alpha)(Q_g + F) + Q_r + \Delta Q_m$$

6. РАСЧЕТ БОЛТОВ (ШПИЛЕК)

Условия прочности болтов

$$\sigma_{\delta_1} = \frac{P_{\delta_1}}{Z \cdot f_\delta} \leq [\sigma]_\delta^{\text{то}},$$

$$\sigma_{\delta_2} = \frac{P_{\delta_1} + \Delta P_\delta}{Z \cdot f_\delta} \leq [\sigma]_\delta^+$$

7. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_n = \frac{P_n}{\pi \cdot D_{сн} \cdot b_n} \leq [q]$$

8. РАСЧЕТ ФЛАНЦА *

8.1. Угол поворота фланца при затяжке

$$\theta = \frac{P_n \cdot b}{2 \cdot \pi \cdot (K_\varphi + K_s + K_n)}$$

8.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta \theta = \frac{\Delta P_s \cdot b + Q_s (e - 1) + Q_s \cdot p + \left(\frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F \right) \cdot e}{2 \cdot \pi \cdot \left(K_\varphi \frac{E_s}{E} + K_s \frac{E_s}{E_s} + K_n \right)}$$

8.3. Меридиональное напряжение на наружной и внутренней поверхностях обечайки при затяжке, МПа

Для фланцев по черт. 1, 3

$$\sigma_{21} = \sigma_2, \quad \sigma_{22} = -\sigma_2,$$

где

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot M_1}{(S_2 - C)^2};$$

$$M_1 = 0,1 \cdot C_0 \cdot \beta \cdot E \cdot S_0^3 (2 + \beta \cdot h) \cdot \theta$$

 C_0 — определяется по табл. 9.

Для фланцев по черт. 2:

в сечении S_1

$$\sigma_H = \sigma_1, \quad \sigma_{12} = -\sigma_1,$$

* В случае соединения с разными фланцами, расчет следует производить для каждого фланца

Таблица 9

$\frac{h}{S_0}$	C_0 при соотношении $\frac{S_0}{D}$												
	0,0050	0,0075	0,0100	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,1000	0,1200
2	1,0100	1,0093	1,0003	0,9938	1,0092	1,1042	1,0639	1,0511	1,0638	1,1502	1,1986	1,2004	1,2076
3	1,0006	0,9962	0,9837	0,9740	0,9874	1,0839	1,0397	1,0242	1,0354	1,1092	1,1874	1,1877	1,1929
4	0,9920	0,9847	0,9693	0,9571	0,9689	1,0669	1,0195	1,0020	1,0121	1,0774	1,1723	1,1715	1,1749
5	0,9843	0,9745	0,9567	0,9424	0,9531	1,0524	1,0025	0,9834	0,9927	1,0519	1,1578	1,1562	1,1555
6	0,9773	0,9653	0,9455	0,9296	0,9394	1,0398	0,9879	0,9675	0,9763	1,0310	1,1449	1,1429	1,1443
7	0,9709	0,9571	0,9356	0,9182	0,9273	1,0289	0,9753	0,9539	0,9622	1,0136	1,1337	1,1313	1,1322

где
$$\sigma_1 = \frac{6 \cdot M_o}{(s_1 - c)^2} ,$$

$$M_o = Q_1 \cdot \beta \cdot E \cdot s_2^3 (2 + \beta h) \theta$$

в сечении s_o

$$\sigma_{21} = f \cdot \sigma_1 , \quad \sigma_{22} = -f \cdot \sigma_1 ,$$

где f — определяется по черт.8.

8.4. Приращение меридиональных напряжений на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях, МПа

Для фланцев по черт.1,3

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (s_o - c)} + \Delta \sigma_2 , \quad \Delta \sigma_{22} = \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (s_o - c)} - \Delta \sigma_2 ,$$

где
$$\Delta \sigma_2 = \frac{6 \cdot \Delta M_2}{(s_o - c)^2} ,$$

$$\Delta M_2 = Q_1 c_2 \cdot \beta \cdot E \cdot s_o^3 (2 + \beta h) \Delta \theta + c_3 \left[\frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{2 \cdot \pi} - \frac{\rho \cdot D^2}{4} + f \cdot \rho \cdot h \cdot s_o \right]$$

c_3 — принимается по табл.10.

Для фланцев по черт.2

в сечении s_1

$$\Delta \sigma_{11} = \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (s_1 - c)} + \Delta \sigma_1 , \quad \Delta \sigma_{12} = \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (s_1 - c)} - \Delta \sigma_1 ,$$

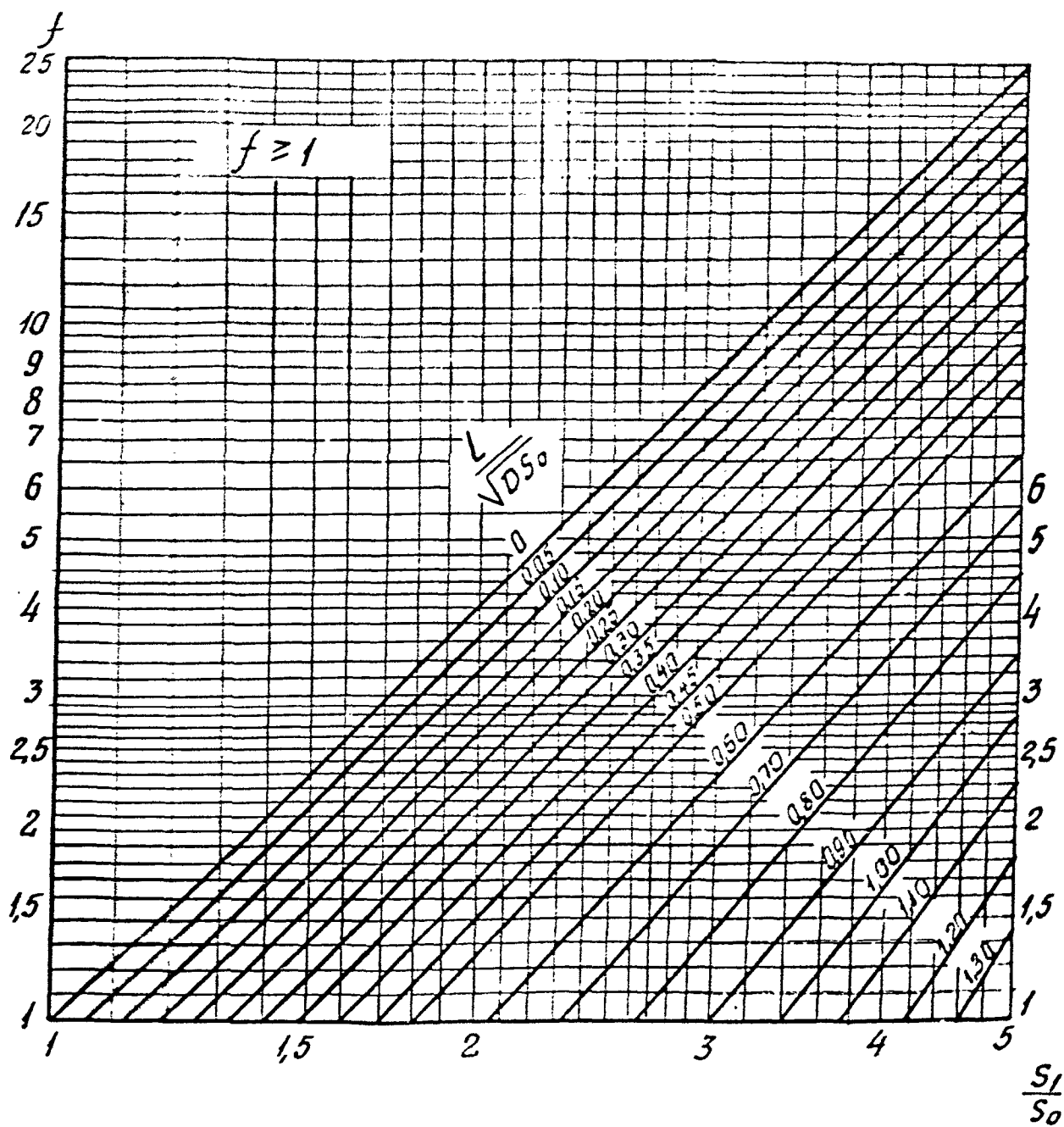
где

$$\Delta \sigma_1 = \frac{6 \cdot \Delta M_o}{(s_1 - c)^2} ,$$

$$\Delta M_o = Q_1 \cdot \beta \cdot E \cdot s_2^3 (2 + \beta h) \Delta \theta + \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot \beta^2 \cdot D^2} - \frac{Q_2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot D^2 (1 - \frac{2 s_2}{D_n - D})}{\pi \cdot \beta^2 \cdot D^2}$$

в сечении s_o

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (s_o - c)} + f \cdot \Delta \sigma_1 , \quad \Delta \sigma_{22} = \frac{Q_2 + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (s_o - c)} - f \cdot \Delta \sigma_1$$



8.5. Окружные напряжения на наружной и внутренней поверхностях в условиях затяжки, МПа

Для фланцев по черт. I, 3

$$\sigma_{23} = 0,38 \sigma_2, \quad \sigma_{24} = -0,38 \sigma_2$$

Для фланцев по черт. 2

в сечении S_1 ,

$$\sigma_{23} = \frac{E \cdot h \cdot \theta}{D} + 0,38 \sigma_1, \quad \sigma_{24} = \frac{E \cdot h \cdot \theta}{D} - 0,38 \sigma_1;$$

в сечении S_0 ,

$$\sigma_{23} = 0,38 f \cdot \sigma_1, \quad \sigma_{24} = -0,38 f \cdot \sigma_1$$

8.6. Приращения окружных напряжений на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях, МПа

Для фланцев по черт. I, 3

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{\rho \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} + 0,38 \Delta \sigma_2, \quad \Delta \sigma_{24} = \frac{\rho \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} - 0,38 \Delta \sigma_2$$

Для фланцев по черт. 2

в сечении S_1 ,

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{E^+ \cdot h \cdot \Delta \theta}{D} + \frac{\rho \cdot D}{D_n - D} + 0,38 \Delta \sigma_1, \quad \Delta \sigma_{24} = \frac{E^+ \cdot h \cdot \Delta \theta}{D} + \frac{\rho \cdot D}{D_n - D} - 0,38 \Delta \sigma_1,$$

в сечении S_0 ,

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{\rho \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} + 0,38 f \cdot \Delta \sigma_1, \quad \Delta \sigma_{24} = \frac{\rho \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} - 0,38 f \cdot \Delta \sigma_1$$

8.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

Для фланца по черт.1,3

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2} - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})(\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})}{\sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2} - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})(\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})} \right\} \leq [\sigma]_0$$

Для фланца по черт.2

в сечении S_1

$$\sigma_{s_1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11})^2 + (\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})^2} - (\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11})(\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})}{\sqrt{(\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12})^2 + (\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})^2} - (\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12})(\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})} \right\} \leq [\sigma]_1$$

в сечении S_0

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2} - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})(\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})}{\sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2} - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})(\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})} \right\} \leq [\sigma]_0$$

9. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

9.1. Расчетную амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке определяют по формуле

$$\sigma_a = \max \{ \sigma_1; \sigma_2; \sigma_3 \} \cdot 0,5,$$

где для фланцев по черт.1,3

$$\sigma_1 = 0;$$

$$\sigma_2 = \max \{ |\sigma_{21}|; |\sigma_{23}|; |\sigma_{21} - \sigma_{23}| \} \cdot 1,5;$$

$$\sigma_3 = \max \{ |\sigma_{22}|; |\sigma_{24}|; |\sigma_{22} - \sigma_{24}| \} \cdot 1,5,$$

для фланцев по черт.2

$$\sigma_1 = \phi_\sigma \cdot \sigma_H;$$

$$\sigma_2 = \max \{ |\sigma_{21}|; |\sigma_{23}|; |\sigma_{21} - \sigma_{23}| \}$$

$$\sigma_3 = \max \{ |\sigma_{22}|; |\sigma_{24}|; |\sigma_{22} - \sigma_{24}| \}.$$

ϕ_σ - определяют по черт.9.

9.2. Расчетную амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях определяют по формуле

$$\sigma_a^p = \max \{ \Delta \sigma_1; \Delta \sigma_2; \Delta \sigma_3 \} \cdot 0,5$$

где для фланцев по черт.І,3

$$\Delta \sigma_1 = 0;$$

$$\Delta \sigma_2 = \max \{ |\Delta \sigma_{21}|; |\Delta \sigma_{23}|; |\Delta \sigma_{21} - \Delta \sigma_{23}| \} \cdot 1,5;$$

$$\Delta \sigma_3 = \max \{ |\Delta \sigma_{22}|; |\Delta \sigma_{24}|; |\Delta \sigma_{22} - \Delta \sigma_{24}| \} \cdot 1,5,$$

для фланцев по черт.2

$$\Delta \sigma_1 = \phi_\sigma \Delta \sigma_n;$$

$$\Delta \sigma_2 = \max \{ |\Delta \sigma_{21}|; |\Delta \sigma_{23}|; |\Delta \sigma_{21} - \Delta \sigma_{23}| \};$$

$$\Delta \sigma_3 = \max \{ |\Delta \sigma_{22}|; |\Delta \sigma_{24}|; |\Delta \sigma_{22} - \Delta \sigma_{24}| \}.$$

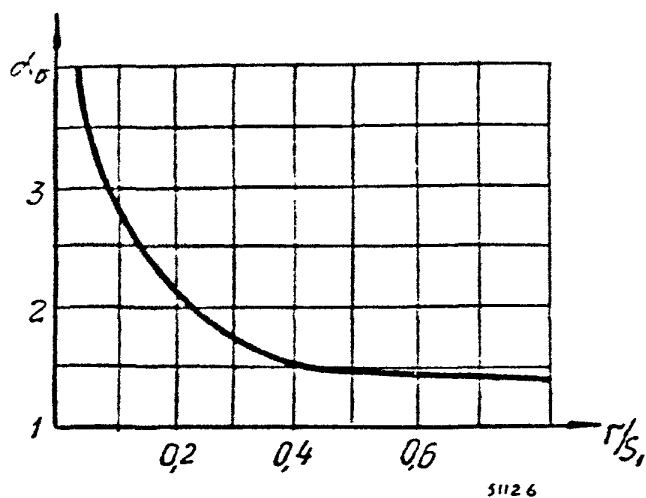
9.3. Допускаемое число нагружений, вызванных сборками и разборками фланцевого соединения, $[N]_c$ определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений σ_a по

РД РТМ 26-ОІ-І33-8І.

Допускаемое число циклов нагружения, вызванных пусками и остановками или изменениями режима эксплуатации $[N]_p$ определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений σ_a^p по РД РТМ 26-ОІ-І33-8І.

9.4. Оценка долговечности производится по формуле

$$\frac{N_c}{[N]_c} + \frac{N_p}{[N]_p} \leq 1$$



Черт. 9

Таблица 10

$\frac{S_0}{D}$	0,0050	0,0075	0,0100	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200
C_3	0,0025	0,0038	0,0048	0,0058	0,0071	0,0096	0,0101

Продолжение табл. 10

$\frac{S_0}{D}$	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,1000	0,1200
C_3	0,0109	0,0123	0,0260	0,0398	0,0514	0,0616

10. РАСЧЕТ СВОБОДНОГО КОЛЬЦА

10.1. Угол поворота свободного кольца

$$\theta_k = \frac{P_{\delta 1} \cdot a}{2\pi(K_k + K_s)} + \frac{\Delta P_{\delta} \cdot a}{2\pi(K_k \frac{E_k^*}{E_k} + K_{\delta} \frac{E_{\delta}^*}{E_{\delta}})}$$

10.2. Кольцевое напряжение в свободном кольце, МПа

$$\sigma_{kc} = \frac{E_k^* \cdot h_k \cdot \theta_k}{D_k}$$

10.3. Условие прочности

$$\sigma_{kc} \leq [\sigma]_{kc}$$

II. УСЛОВИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

$$\theta + \Delta \theta \leq [\theta]$$

где $[\theta] = 0,013$

$$q_n = \frac{P_{\delta 1} + \Delta P_{\delta} - [Q_f + F] - \delta_n \xi_n M \cos \varphi + 2\alpha_T T \cos 2\varphi - Q_+}{\pi \cdot D_{ca} \cdot b_o} \geq m_f$$

где $\varphi = \pi$

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Справочное

ТЕРМИНЫ И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Таблица

Т е р м и н	Обозначение
Ширина прокладки, мм	b_n
Прибавка для компенсации коррозии, мм	c
Внутренний диаметр фланца, мм	D
Внутренний диаметр свободного кольца, мм	D_k
Наружный диаметр фланца, мм	D_n
Наружный диаметр свободного кольца, мм	D_{nk}
Диаметр окружности расположения болтов, мм	D_b
Средний диаметр прокладки, мм	D_{cn}
Диаметр болта (шпильки), мм	d
Модуль продольной упругости материала при температуре 20°C и расчетной, МПа	
фланца	E, E^+
болтов	E_b, E_b^+
свободного кольца	E_k, E_k^+
Условный модуль сжатия материала прокладки, МПа	E_n
Внешняя осевая сила (сжимаемая со знаком минус), Н	F
Площадь поперечного сечения болта(шпильки) по внутреннему диаметру резьбы, мм ²	f_b
Толщина фланца по внутреннему и наружному диаметрам, мм	h, h_i

Т е р м и н	Обозначение
Толщина свободного кольца, мм	h_k
Толщина крышки в зоне уплотнения и на наружном конце, мм	$\delta_{кр}, \delta$
Толщина прокладки, мм	h_n
Длина конической втулки, мм	L
Внешний изгибающий момент, Н.мм	M
Поперечная сила, Н	T
Расчетное давление, МПа	p
Толщина конической втулки в месте соединения с фланцем	S_1
обечайкой, трубой, мм	S_o
Толщина обечайки (трубы), мм	S_o
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм	$L_{до}$
Число болтов (шпилек), шт	Z
Расчетная температура, °С	
фланца	t_{ϕ}
болтов	t_b
свободного кольца	t_k
Температурный коэффициент линейного расширения материала, 1/°С	
фланца	α_{ϕ}
болтов (шпилек)	α_b
свободного кольца	α_k
Коэффициент Пуассона материала прокладки	ν_n
Допускаемое напряжение материала болтов (шпилек) при температуре 20 °С и расчетной, МПа	$[\sigma]_b^*, [\sigma]_b^*$
Расчетная и допускаемая амплитуда условных упругих напряжений, МПа	$\sigma_a, [\sigma_a]$
Расчетное и допускаемое число циклов нагружения	$N, [N]$

Пример расчета фланцевого соединения
(черт. I)

Исходные данные

$D = 80$ мм	$h = 20$ мм	$t = 20^\circ\text{C}$
$D_n = 195$ мм	$h_n = 2$ мм	$\rho = 1,0$ МПа
$D_g = 160$ мм	$S_g = 8$ мм	$E = 1,15 \cdot 10^5$ МПа
$D_n = 121$ мм	$d = 16$ мм	$E_g = 2 \cdot 10^5$ МПа
$b_n = 12$ мм	$Z = 4$ шт.	$E_n = 2 \cdot 10^3$ МПа
	$h_r = 17$ мм	

Материал прокладки - паронит ПОН

Материал болтов - сталь 30Х13

I. Расчет вспомогательных величин

I.1. Эффективная ширина прокладки

$$b_o = b_n = 12 \text{ мм}$$

I.2. Податливость прокладки

$$U_n = \frac{h_n \cdot K}{E_n \cdot \pi \cdot D_{en} \cdot b_n} = \frac{2,0,9}{2 \cdot 10^3 \cdot 3,1416 \cdot 121 \cdot 12} = 0,1973 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

где $E_n = 2 \cdot 10^3$ МПа по табл. 4
 $K = 0,9$

I.3. Угловая жесткость прокладки

$$K_n = \frac{D_{en} \cdot b_n^3 \cdot E_n}{12(1 - \nu_n^2) \cdot h_n} = \frac{121 \cdot 12^3 \cdot 2 \cdot 10^3}{12 \cdot (1 - 0,4^2) \cdot 2} = 20,7429 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

где $\nu_n = 0,4$ по табл. 4

I.4. Расчетная длина болта

$$L_s = L_{s0} + 0,28d = 42 + 0,28 \cdot 16 = 46,48 \text{ мм}$$

I.5. Податливость болтов

$$U_s = \frac{L_s}{E_s \cdot f_s \cdot Z} = \frac{46,48}{2 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4} = 0,4035 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

где $f_s = 144 \text{ мм}^2$ по табл. 5

1.6. Изгибная жесткость болтов

$$K_s = \frac{K_s \cdot d^3 \cdot E_s \cdot Z}{64 \cdot L_s} = \frac{0,1 \cdot 16^4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 4}{64 \cdot 46,48} = 1,7625 \cdot 10^6 \text{ мм.Н}$$

1.7. Параметры фланца

1.7.1. Эквивалентная толщина втулки

$$S_s = S_o = 8 \text{ мм}$$

1.7.2. Коэффициенты

$$A_1 = \frac{D}{D_s} = \frac{80}{160} = 0,5$$

$$A_o = 0,06287$$

$$K_1 = \frac{1,38}{1 - (\frac{D}{D_s})^2} \cdot L_n \frac{D}{D_s} = \frac{1,38}{1 - (\frac{80}{195})^2} \cdot L_n \frac{80}{195} = -1,4784$$

$$A_1 = \frac{2(D_n - D)}{(2 \cdot K_1 - 0,62) \cdot D \cdot L_n \frac{D}{D_s}} = \frac{2 \cdot (195 - 80)}{[2 \cdot (-1,4784) - 0,62] \cdot 80 \cdot L_n \frac{80}{195}} = 0,9021$$

$$A_3 = \frac{0,725(1 - K_1) - 1,613 K_1 (\frac{D}{D_s})^2 + L_n \frac{D}{D_s}}{[0,725(1 - K_1) - 1,613 K_1] \cdot \frac{D}{D_s}} =$$

$$= \frac{0,725 [1 - (-1,4784)] - 1,613(-1,4784) (\frac{80}{195})^2 + L_n \frac{80}{195}}{\{0,725 [1 - (-1,4784)] - 1,613(-1,4784)\} \cdot \frac{80}{195}} = 0,7620$$

$$A_2 = \frac{2}{1 + A_3 (\frac{L}{h})^3} = \frac{2}{1 + 0,7620 (\frac{20}{17})^3} = 0,8925$$

$$A_4 = \frac{[1 - (\frac{D}{D_s})^2] (D_n + D)}{2 \frac{D}{D_s} [1,38 + 0,62 (\frac{D}{D_s})^2] (D_n - D)} =$$

$$= \frac{1 - (\frac{80}{195})^2 (195 + 80)}{2 \frac{80}{195} [1,38 + 0,62 (\frac{80}{195})^2] (195 - 80)} = 1,6329$$

$$\beta = \frac{1,79}{\sqrt{D \cdot S_s}} = \frac{1,79}{\sqrt{80 \cdot 8}} = 0,0708$$

$$\gamma = \frac{D(D_n + D)}{4(D_n - D) \cdot h \cdot A_4} = \frac{80 \cdot (195 + 80)}{4 \cdot (195 - 80) \cdot 20 \cdot 1,6329} = 1,4644$$

$$\lambda = 0,19 \cdot D \cdot K_2 = 0,19 \cdot 80 \cdot 0,2454 = 3,7 \text{ мм}$$

$$\rho = \pi \cdot D \cdot K_2 \left(\frac{D^2}{4} - \frac{1}{2} \cdot h \cdot S_2 \right) = 3,1416 \cdot 80 \cdot 0,2454 \left[\left(\frac{80^2}{4} \right) - \frac{1}{2} \cdot 1,4644 \cdot 20 \cdot 8 \right] = 84230,5 \text{ мм}^3$$

$$\text{где } K_2 = 0,2454 \text{ по табл.6}$$

$$\psi = 0,495 \text{ по черт.5}$$

$$C_1 = 2,4169 \text{ по табл.7}$$

$$C_2 = 1,7298 \text{ по табл.8}$$

1.7.3. Угловая податливость фланцев

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} &= \frac{6}{E \cdot h^3 \psi \cdot A_1 + 0,5844 \cdot \beta \cdot D \cdot E \cdot S_2^3 \left[C_1 + (C_1 + C_2) \frac{\rho \cdot h}{2} + C_2 \frac{\rho^2 \cdot h^2}{2} \right]} = \\ &= \frac{6}{1,15 \cdot 10^9 \cdot 20^3 \cdot 0,495 \cdot 0,9021 + 0,5844 \cdot 0,0708 \cdot 80 \cdot 1,15 \cdot 10^9 \cdot 8^3 \left[2,4169 \right. \\ &\quad \left. + (2,4169 + 1,7298) \frac{0,0708 \cdot 20}{2} + 1,7298 \frac{0,0708^2 \cdot 20^2}{2} \right]} = \\ &= 0,003348 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Н.мм} \end{aligned}$$

1.7.4. Угловая жесткость фланца

$$K_\rho = \frac{1}{\frac{1}{\rho}} = \frac{1}{0,003348 \cdot 10^{-6}} = 298,6711 \cdot 10^6 \text{ Н.мм}$$

1.7.5. Плечи моментов

$$b = 0,5 (D_8 - D_{cn}) = 0,5 (160 - 121) = 19,5 \text{ мм}$$

$$c = 0,5 (D_{cn} - D - S_2) = 0,5 (121 - 80 - 8) = 16,5 \text{ мм}$$

2. Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$\phi = 1 - \frac{A_2 \psi_n - 2 \psi_p \cdot b \cdot c}{\eta_1}$$

$$\begin{aligned} \text{где } \eta_1 &= A_2 (\psi_n + \psi_p) + 2 \psi_p \cdot b^2 = 0,8925 (0,1973 \cdot 10^{-6} + 0,4035 \cdot 10^{-6}) + \\ &+ 2 \cdot 0,003348 \cdot 10^{-6} \cdot 19,5^2 = 3,0824 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\phi = 1 - \frac{0,8925 \cdot 0,1973 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 0,003348 \cdot 10^{-6} \cdot 19,5 \cdot 16,5}{3,0824 \cdot 10^{-6}} = 1,64$$

3. РАСЧЕТ НАГРУЗОК

3.1. Равнодействующая внутреннего давления

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 121^2 \cdot 1 = 11493,2 \text{ Н}$$

3.2. Реакция прокладки в рабочих условиях

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot m \cdot p = 3,1416 \cdot 121 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 1 = 11404,0 \text{ Н}$$

3.3. Нагрузка, необходимая для равномерного обжатия прокладки

$$\Delta Q = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot \Delta q$$

где
$$\Delta q = \frac{1,63 \cdot A_c \cdot b_o \cdot D_g^2 \cdot E_n}{h_n (D_g - D_{cn}) \cdot E \cdot h^3} \cdot \frac{P_{обж}}{Z}$$

$$P_{обж} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot q_{обж} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 121 \cdot 12 \cdot 20 = 45616,0 \text{ Н}$$

$$\Delta q = \frac{1,63 \cdot 0,06287 \cdot 12 \cdot 160^2 \cdot 2 \cdot 10^3}{2(160 - 121) \cdot 1,15 \cdot 10^5 \cdot 20^3} \cdot \frac{45616}{4} = 10 \text{ МПа}$$

$$\Delta Q = 3,1416 \cdot 121 \cdot 12 \cdot 10 = 45616,0 \text{ Н}$$

3.4. Болтовая нагрузка в условиях монтажа принимается большей из следующих значений

$$P_{\sigma_i} = \alpha Q_g + R_n + \Delta Q = 1,64 \cdot 11493,2 + 11404 + 45616 = 75868,8$$

$$P_{\sigma_i} = P_{обж} = 45616,0 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma_i} = 0,4 [\sigma]_{\sigma}^{20} Z \cdot f_{\sigma} = 0,4 \cdot 250 \cdot 4 \cdot 144 = 57600,0 \text{ Н}$$

3.5. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях

$$\Delta P_{\sigma} = (1 - \alpha) Q_g = (1 - 1,64) \cdot 11493,2 = -7355,6 \text{ Н}$$

4. РАСЧЕТ БОЛТОВ

Условия прочности болтов

$$\sigma_{\delta_i} = \frac{P_{\sigma_i}}{Z \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma]_{\sigma}^{20}$$

$$\sigma_{\delta_i} = \frac{P_{\sigma_i} + \Delta P_{\sigma}}{Z \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma]_{\sigma}^{+}$$

где для болтов из стали 30Х13

$$[\sigma]_s^{20} = 250 \text{ МПа}$$

расчет проведен при $t = 20^\circ\text{C}$, поэтому

$$[\sigma]_s^* = [\sigma]_s^{20} = 250 \text{ МПа}$$

$$\sigma_s = \frac{75868,8}{4 \cdot 144} = 131,7 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{75868,8 - 7355,6}{4 \cdot 144} = 119,0 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа}$$

5. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_n = \frac{P_s}{\pi \cdot D_{en} \cdot b_n} \leq [q]$$

где $[q] = 130 \text{ МПа}$ по табл.4

$$q_n = \frac{75868,8}{3,1416 \cdot 121 \cdot 12} = 16,6 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$$

6. РАСЧЕТ ФЛАНЦА

6.1. Угол поворота фланца при затяжке

$$\theta = \frac{P_s \cdot b}{2 \cdot \pi (K_p + K_s + K_n)} =$$

$$= \frac{75868,8}{2 \cdot 3,1416 \cdot (298,6711 + 1,7625 + 20,7429) \cdot 10^5} = 0,00074$$

6.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta \theta = \frac{\Delta P_s \cdot b + Q_g(e-1) + p \cdot p}{2 \cdot \pi (K_p + K_s + K_n)} =$$

$$= \frac{-7355,6 \cdot 19,5 + 11493,2(16,5 - 3,7) + 84230,5 \cdot 1}{2 \cdot 3,1416 \cdot (289,6711 + 1,7625 + 20,7429) \cdot 10^6} = 0,000044$$

6.3. Меридиональное напряжение на наружной и внутренней поверхностях обечайки при затяжке

$$\sigma_{21} = \sigma_2, \quad \sigma_{22} = -\sigma_2$$

$$\sigma_2 = \frac{6 M_1}{(s_0 - c)^2},$$

$$M_1 = 0,1 C_0 \cdot \beta E \cdot s_0^3 (2 + \beta h) \theta = 0,1 \cdot 1,1941 \cdot 0,0708 \cdot 1,15 \cdot 10^5 \cdot$$

$$\cdot 8^3 \cdot (2 + 0,0708 \cdot 20) \cdot 0,00074 = 1258,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}/\text{мм}$$

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot 2040,5}{(8-0)^2} = 118,0 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{21} = 118,0 \text{ МПа}, \quad \sigma_{22} = -118,0 \text{ МПа}$$

где $C_0 = 1,1941$ по табл.9

6.4. Приращение меридиональных напряжений на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{Q_2}{\pi \cdot D \cdot (s_0 - c)} + \Delta \sigma_2, \quad = \frac{Q_2}{\pi \cdot D \cdot (s_0 - c)} - \Delta \sigma_2,$$

$$\Delta \sigma_2 = \frac{6 \cdot \Delta M_1}{(s_0 - c)^2},$$

$$\Delta M_1 = 0,1 C_0 \cdot \beta \cdot E \cdot s_0^3 (2 + \beta h) \Delta \theta + C_3 \left(\frac{0,38 Q_2}{2 \cdot \pi} - \frac{\rho \cdot D^2}{4} + \int \rho h s_0 \right) =$$

$$= 0,1 \cdot 1,1941 \cdot 0,0708 \cdot 1,15 \cdot 10^5 \cdot 8^3 \cdot (2 + 0,0708 \cdot 20) \cdot 0,000044 +$$

$$+ 0,0514 \left(\frac{0,38 \cdot 114932}{2 \cdot 3,1416} - \frac{1 \cdot 80^2}{4} + 1,4644 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 8 \right) = 40,4 \text{ Н} \cdot \text{мм}/\text{мм}$$

$$\Delta \sigma_2 = \frac{6 \cdot 40,4}{(8 - 0)^2} = 3,8 \text{ МПа}$$

где $C_3 = 0,0514$ по табл.10

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{11493,2}{3,1416 \cdot 80 \cdot (8-0)} + 3,8 = 9,5 \text{ МПа}$$

$$\Delta \sigma_{22} = \frac{11493,2}{3,1416 \cdot 80 \cdot (8-0)} - 3,8 = 1,9 \text{ МПа}$$

6.5. Окружные напряжения на наружной и внутренней поверхностях в условиях затяжки

$$\sigma_{2r} = 0,38 \cdot \sigma_2 = 0,38 \cdot 118 = 44,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{2\varphi} = -0,38 \cdot \sigma_2 = -0,38 \cdot 118 = -44,8 \text{ МПа}$$

6.6. Приращение окружных напряжений на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{\rho \cdot D}{2(s_o - c)} + 0,38 \Delta \sigma_2 = \frac{1 \cdot 80}{2(8-0)} + 0,38 \cdot 3,8 = 6,5 \text{ МПа}$$

$$\Delta \sigma_{2\varphi} = \frac{\rho \cdot D}{2(s_o - c)} - 0,38 \Delta \sigma_2 = \frac{1 \cdot 80}{2(8-0)} - 0,38 \cdot 3,8 = 3,6 \text{ МПа}$$

6.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

$$\sigma_{s_o} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{2r} + \Delta \sigma_{2r})^2 + (\sigma_{23} + \Delta \sigma_{23})^2} - (\sigma_{2r} + \Delta \sigma_{2r})(\sigma_{23} + \Delta \sigma_{23}) \\ \sqrt{(\sigma_{2\varphi} + \Delta \sigma_{2\varphi})^2 + (\sigma_{2\varphi} + \Delta \sigma_{2\varphi})^2} - (\sigma_{2\varphi} + \Delta \sigma_{2\varphi})(\sigma_{2\varphi} + \Delta \sigma_{2\varphi}) \end{array} \right\} \leq [\sigma]_o$$

$$\sigma_{s_o} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(118+9,5)^2 + (44,8+6,5)^2} - (118+9,5)(44,8+6,5) = 111,1 \\ \sqrt{(-118+1,9)^2 + (-44,8+3,6)^2} - (-118+1,9)(-44,8+3,6) = 101,9 \end{array} \right.$$

$$111,1 \text{ МПа} < 248,0 \text{ МПа}$$

где $[\sigma]_o = 0,8 \sigma_T = 0,8 \cdot 310 = 248,0 \text{ МПа}$

$$\sigma_T = 310,0 \text{ МПа по ОСТ 26-01-279-79}$$

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН

УкрНИИхиммаш

ИСПОЛНИТЕЛИ

Л.П.Гапонова (руководитель темы)

Т.П.Голубова

П.С.Марченко

2. УТВЕРЖДЕН

УкрНИИхиммашем

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

Письмом УкрНИИхиммаша

3. СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ - 1993

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ - 5 лет

4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение документа, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта перечисления, приложения
ОСТ 26-II-06-85	Вводная часть
ОСТ 26-ОІ-279-78	Вводная часть, п.2.3
ОСТ 26-ОІ-І298-8І	Вводная часть, п.2.І
ОСТ 26-II-04-84	П.2.2
РД РТМ 26-ОІ-І33-8І	П.9.3