

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-II-06-85, ОСТ 26-01-279-78, ОСТ 26-01-1298-81, РД РТМ 26-01-133-81.

## І. ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

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

І.2. Типы фланцевых соединений приведены на черт. 1,2,3.

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

І.3. Для фланцев по черт. 1,2 расчетные формулы применимы при

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

Для фланцев по черт.3 расчетные формулы применимы при

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

І.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.

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

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

2) циклы нагружения  $N_p$ , вызванные пусками и остановками или изменениями режима эксплуатации (приращение нагрузки  $\Delta P_{\delta}$ ).

І.6. При определении числа циклов, вызванных приращением нагрузки, не учитываются нагрузки, величина которых не превышает 15% от  $P_{\delta 1}$ .

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

Тип фланцевого соединения	Изолированные			Неизолированные		
	$t_{\varphi}$	$t_{\kappa}$	$t_{\sigma}$	$t_{\varphi}$	$t_{\kappa}$	$t_{\sigma}$
Плоские Приварные в стык	$t$	-	$0,97t$	$0,96t$	-	$0,85t$
Со свободными кольцами	$t$	$0,87t$	$0,9t$	$0,93t$	$0,9t$	$0,81t$

## 2. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

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

$$[\sigma]_{\sigma} = \frac{\sigma_{т.б}}{n_{т}}$$

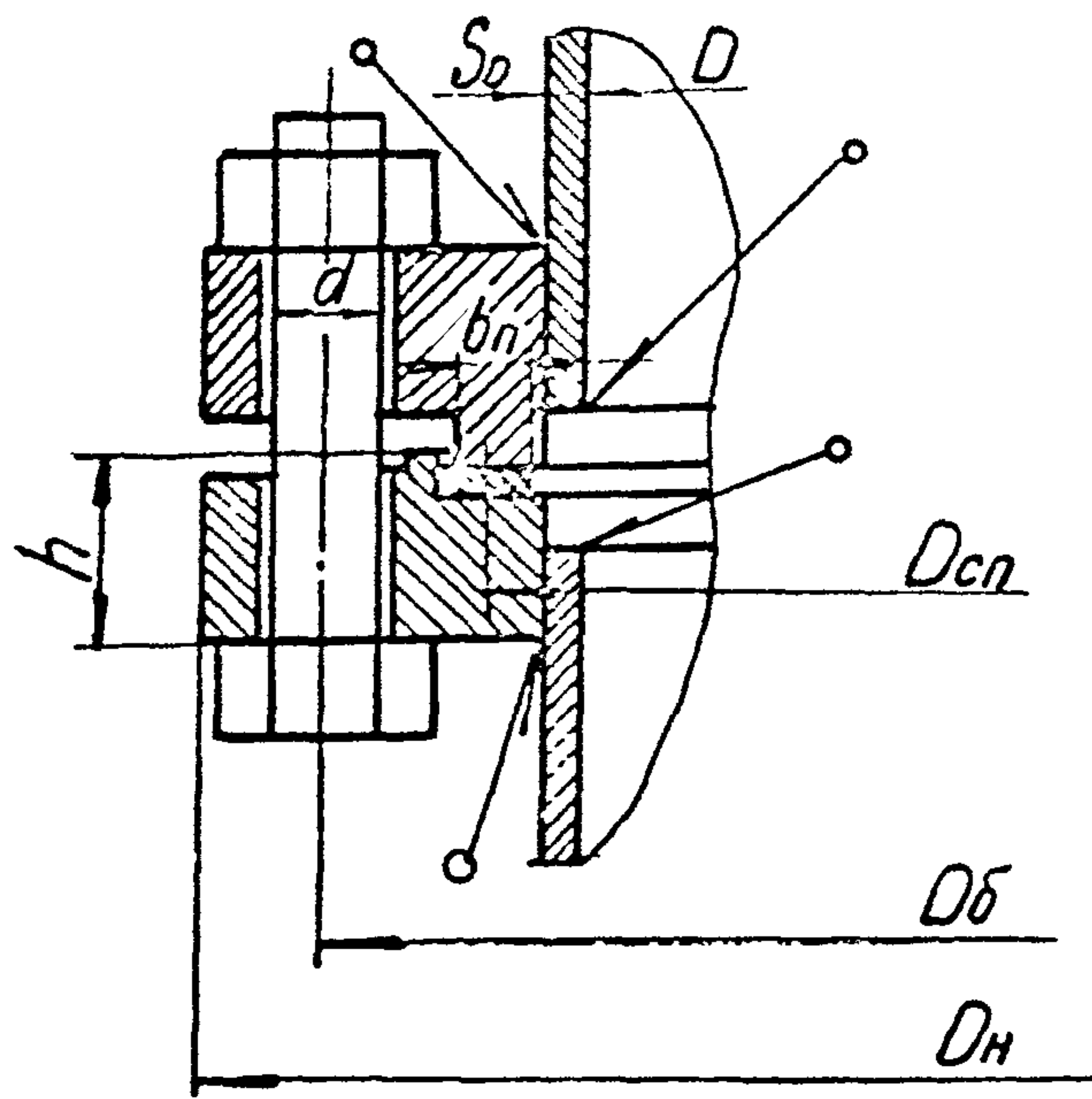
где  $\sigma_{т.б}$  — определяется по ОСТ 26-01-1298-81 или другой нормативной документации;

$n_{т}$  — 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%.



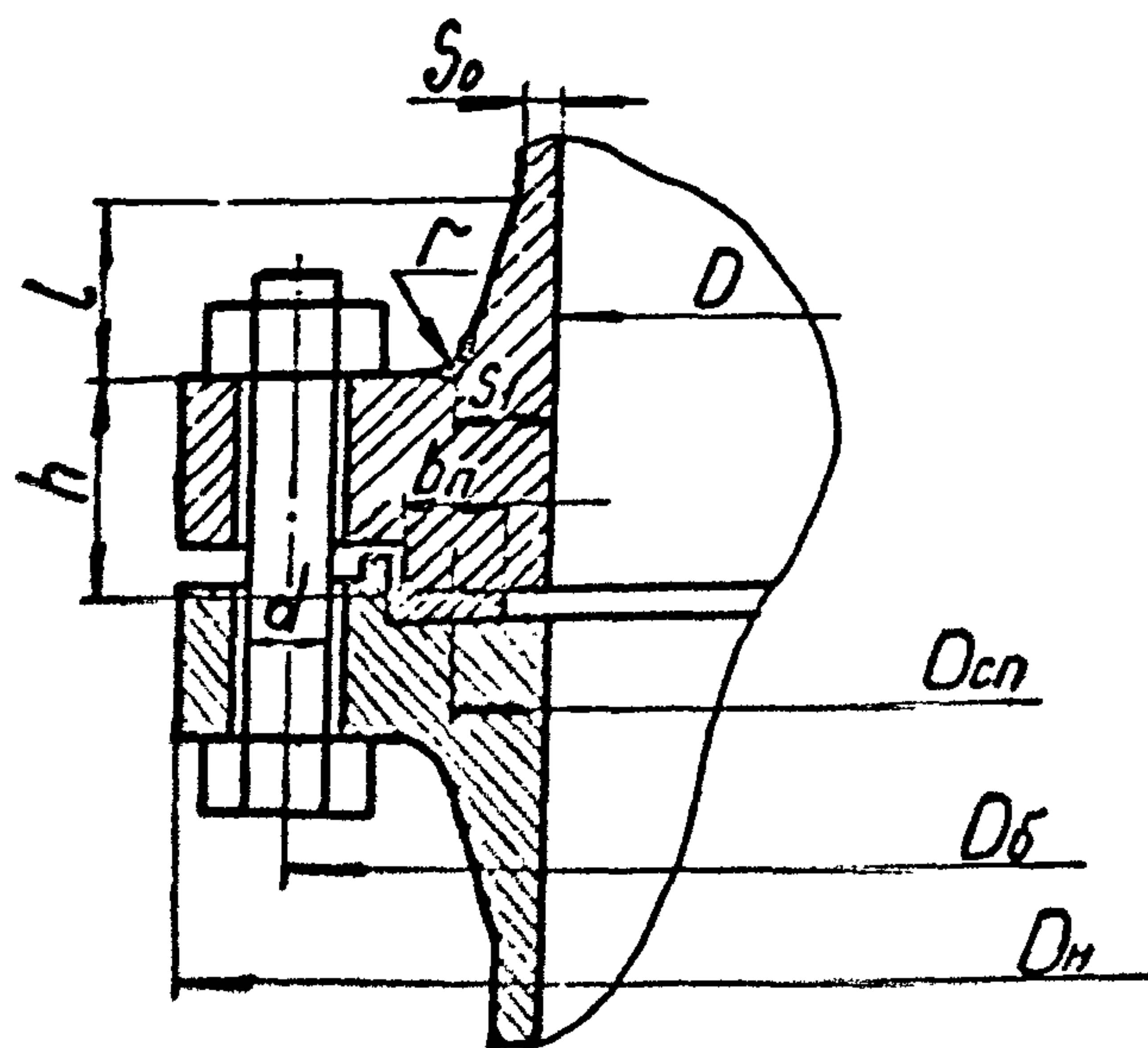
Соединение с плоскими фланцами



51131

Черт. 1

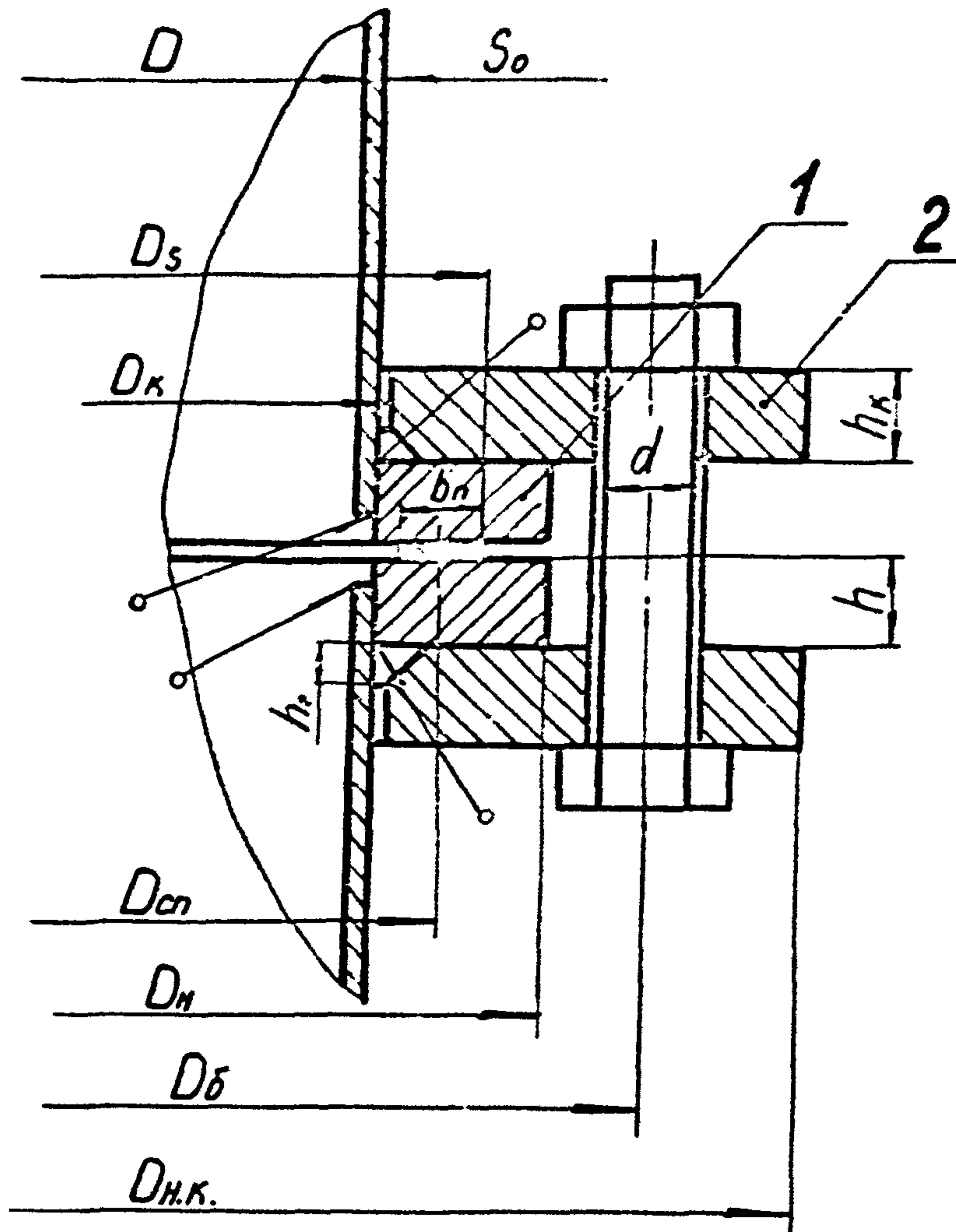
Соединение с фланцами приварными в стык



51132

Черт. 2

Соединение со свободными кольцами



51130

1 - фланец; 2 - свободное кольцо

Черт. 3

Отношение предела текучести к временному сопротивлению		$\eta_r$	
		затяжка не контролируется	затяжка контролируется
$\frac{\sigma_{т.б}}{\sigma_{в.б}} \geq 0,7$		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)

$$[\sigma]_{кс} = \sigma_{тк}$$

$\sigma_{тк}$  - принимается по ОСТ 26-11-04-84 или другой нормативной документации.

2.3. При расчете статической прочности фланцев допускаемые напряжения в сечении  $S, ([\sigma],)$  и сечении  $S_0 ([\sigma]_0)$  принимаются по табл.3.

Таблица 3

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

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

## 3. РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

3.1. Эффективная ширина прокладки, мм

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

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

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

3.3. Податливость прокладки, мм/Н

$$y_n = \frac{h_n \cdot K}{E_n \cdot \pi \cdot D_{ср} \cdot b_n}$$

3.4. Угловая жесткость прокладки, мм.Н

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

3.5. Расчетная длина болта (шпильки), мм

$$L_b = L_{б0} + 0,28d \quad - \text{ для болта,}$$

$$L_b = L_{б0} + 0,56d \quad - \text{ для шпильки.}$$

3.6. Податливость болтов (шпилек), мм/Н

$$y_b = \frac{L_b}{E_b \cdot f_b \cdot Z}$$

где  $f_b$  - принимается по табл.5.

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

$$K_b = \frac{K_o \cdot d^4 \cdot E_b \cdot Z}{64 \cdot L_b}$$

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

$K_o = 0,3 - 0,5$  - 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, $\nu_n$	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	$0,3 \cdot 10^{-4} \times \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	0,45	$0,4 \times 10^{-4} \times \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
* 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 2850-80 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, сжиженные 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 <sup>2</sup>	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

$$S_3 = K S_0$$

где  $K$  - определяется по черт.4

Для фланцев по черт.1, 3

$$S_3 = S_0$$

## 3.8.2. Коэффициенты

Коэффициент  $A_0$  определяется при  $Z \leq 8$

$$A_0 = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left[ \frac{Z}{2} \lambda_1^{2Zn} \left( \frac{2}{Zn} - \frac{\lambda_1^2}{Zn+1} - \frac{\lambda_1^{-2}}{Zn-1} \right) + \frac{1}{n} \frac{1}{(Zn)^2 - 1} \right]$$

где

$$\lambda_1 = \frac{D}{D_0}$$

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

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

где

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

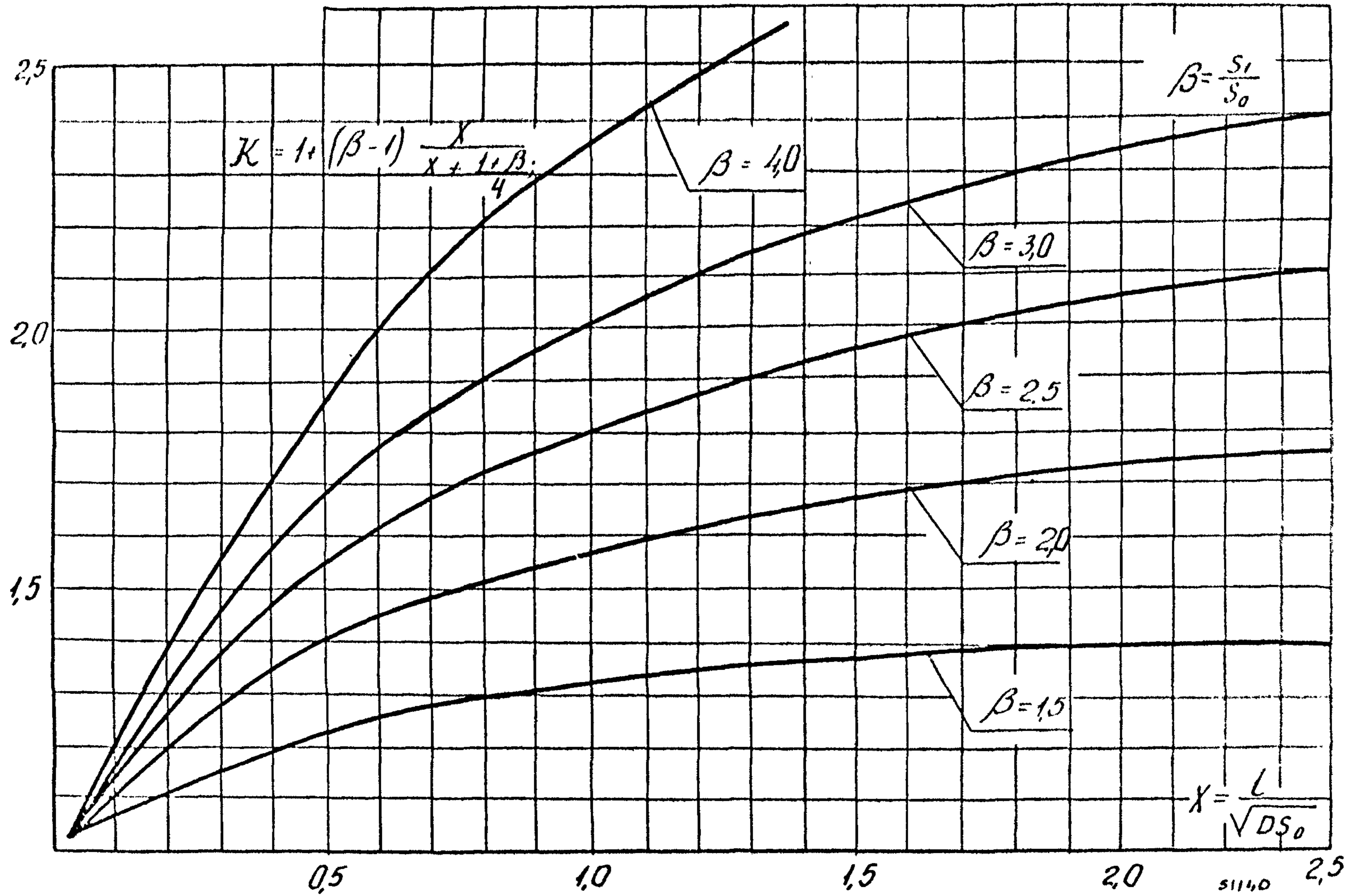
$$A_2 = \frac{2}{1 + A_3 \lambda_2},$$

где

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

$$\lambda_2 = \left(\frac{h}{h_1}\right)^3,$$

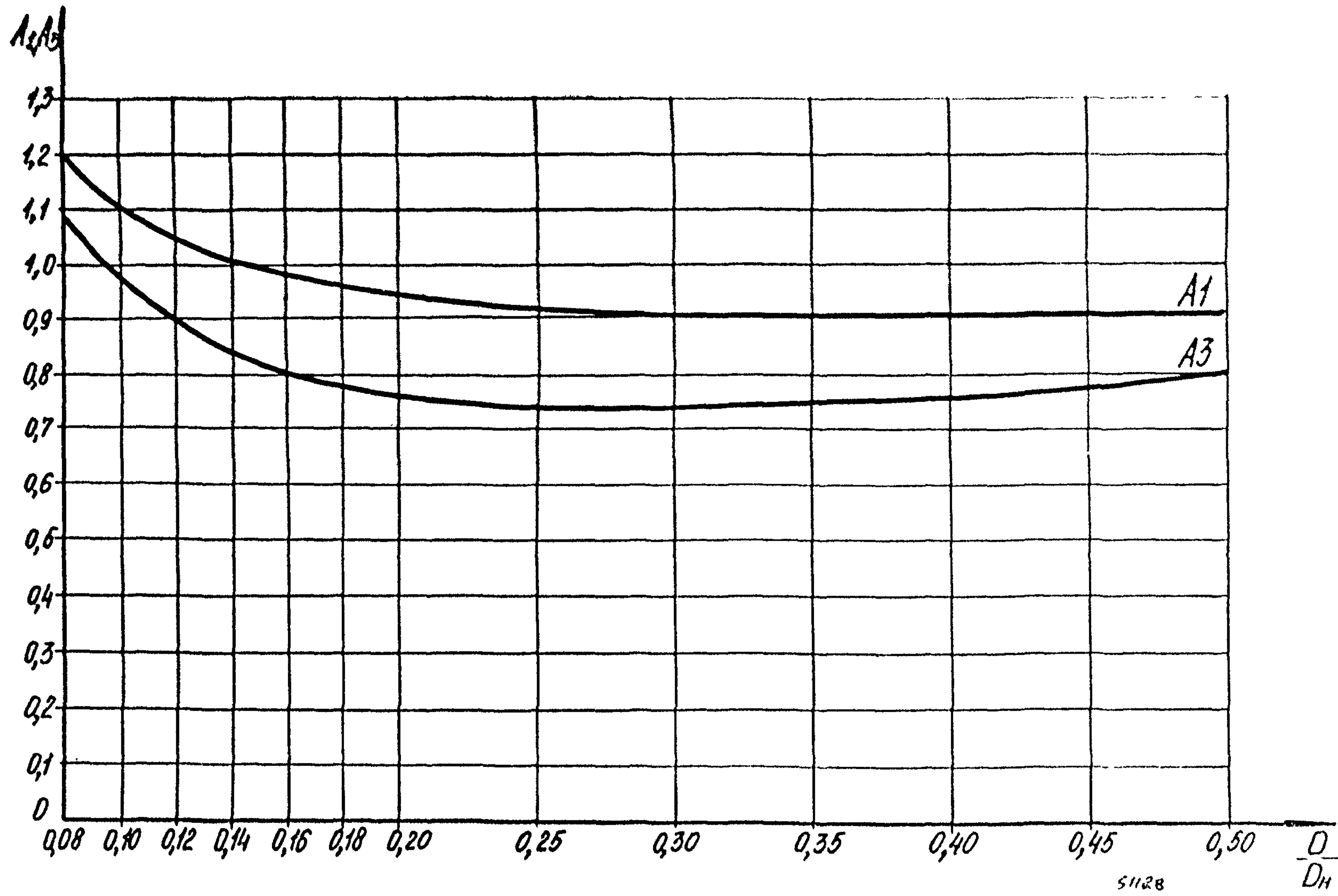
\* В случае соединения с разными фланцами расчет следует производить для каждого фланца



Черт. 4

PI 23-01-163-87 C.II

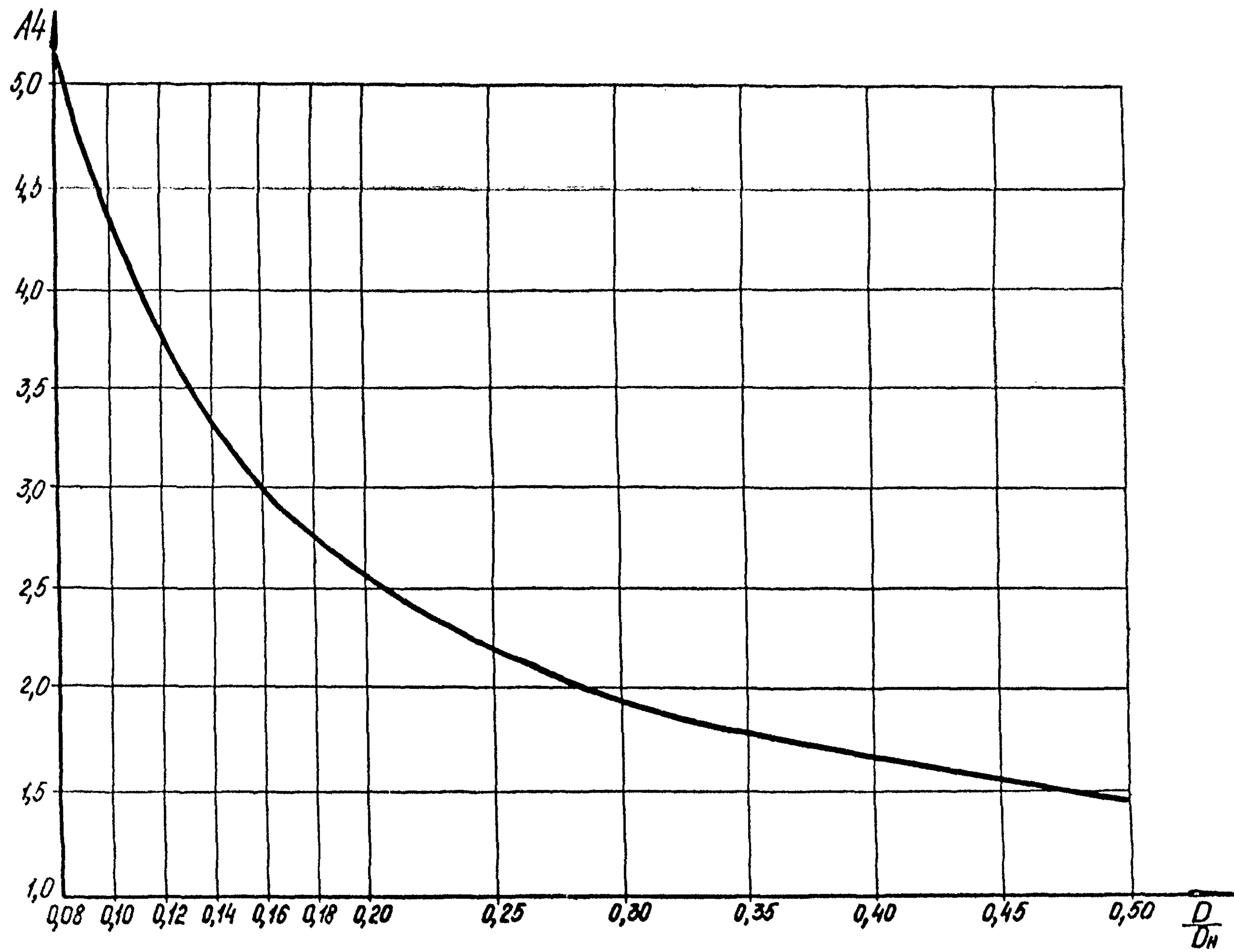




Черт. 5

РД 26-01-133-87 0.12





Черт. 6

РД 26-01-163-87 С.13

$$f_{1,4} = \frac{[1 - (\frac{D}{D_H})^2] (D_H + D)}{2 \frac{D}{D_H} [1,38 + 0,62 (\frac{D}{D_H})^2] (D_H - D)}$$

При  $\frac{D_H}{D} \leq 2$  и  $\frac{2 \cdot h}{D_H - D} \geq 0,25$

$$A_I = I, \quad A_3 = I, \quad A_4 = I, \quad A_2 = 1$$

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

$\psi_1$  - принимается по черт.7.

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

Для фланцев по черт.2

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

Для фланцев по черт.1,3

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

где  $K_2$  - определяется по табл.6.

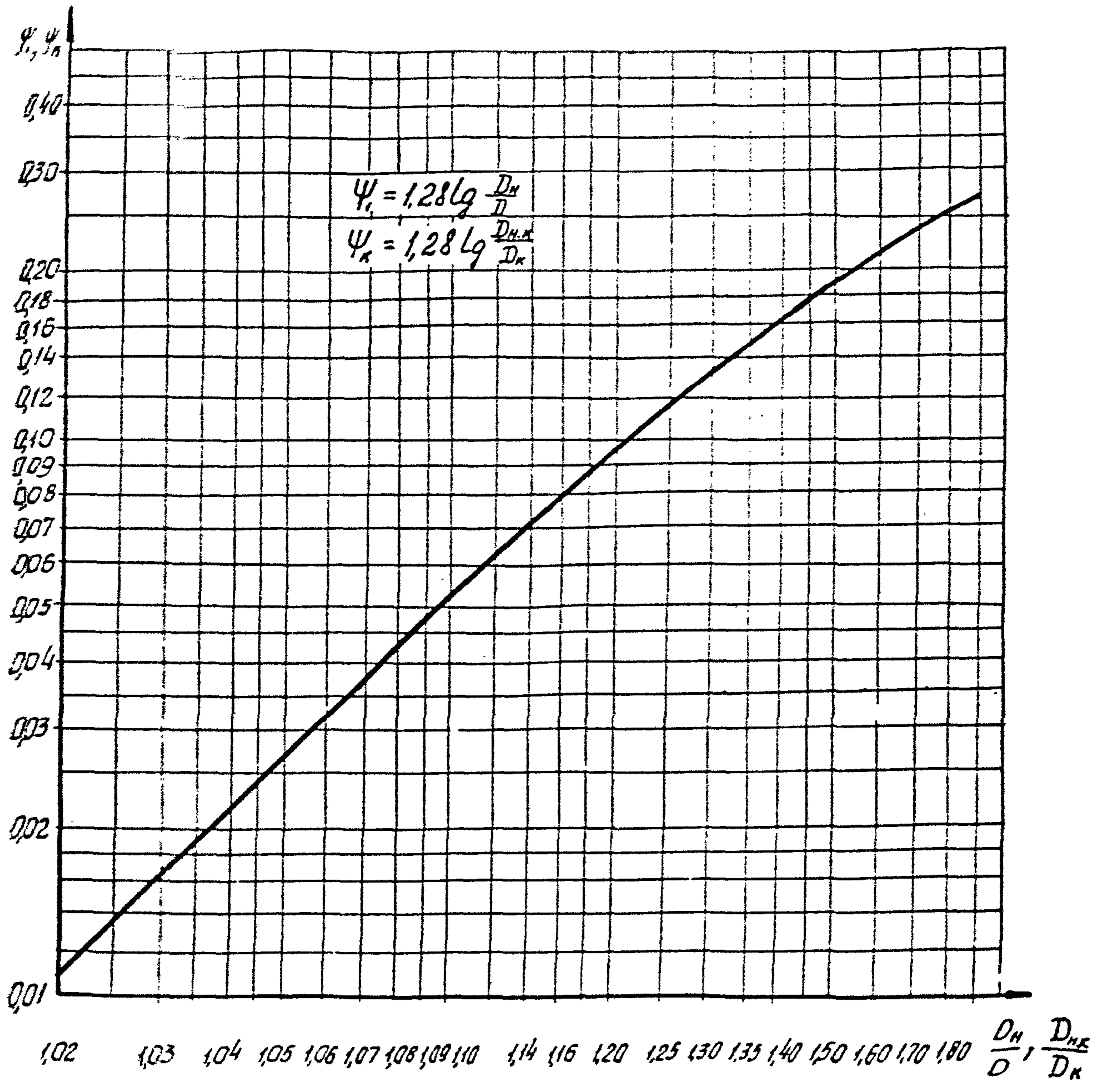


Таблица 6

$\frac{h}{s_0}$	$K_2$ 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,  $\frac{I}{H \cdot \text{мм}}$

по черт.1, 3

$$U_{\varphi} = \frac{6}{Eh^3 \Psi A_1 + 0,5844 \beta D E S_0^3 \left[ C_1 + (C_1 + C_2) \frac{\beta h}{2} + C_2 \frac{\beta^2 h^2}{2} \right]};$$

по черт.2

$$U_{\varphi} = \frac{6}{Eh^3 \Psi A_1 + 0,5844 \beta D E S_0^3 \left( 1 + \beta h + \frac{\beta^2 h^2}{2} \right)}$$

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,  $\frac{I}{H \cdot \text{мм}}$

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

для фланцев по черт.1, 2

$$U_{\varphi_{\text{н}}} = \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\sigma}}{E \cdot D_n \cdot h^3}$$

для фланцев по черт.3

$$U_{\varphi_{\text{н}}} = \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_s}{E \cdot D_n \cdot h^3},$$

$$U_{\varphi_{\text{н}}} = \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\sigma}}{E_k \cdot D_{\text{нк}} \cdot h_k^3}$$

3.8.5. Угловая жесткость фланцев,  $H \cdot \text{мм}$

$$K_{\varphi} = \frac{I}{U_{\varphi}}$$

3.8.6. Угловая податливость свободного кольца,  $\frac{I}{H \cdot \text{мм}}$

$$U_k = \frac{6}{E_k \cdot h_k^3 \cdot \Psi_k},$$

где  $\Psi_k$  - определяется по черт.5.



Таблица 7

$\frac{h}{s_0}$	$C_I$ при соотношении $\frac{s_2}{D}$												
	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	1,8523	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	2,6989
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	1,3690	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

$$K_k = \frac{1}{\frac{11}{J_k}}$$

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

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

где

$$K_2 = \frac{D_H}{D_{сн}}$$

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

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

$$b = 0,5 (D_\delta - D_{сн})$$

$$e = 0,5 (D_{сн} - D - S_2)$$

Для фланцев по черт.3

$$a = 0,5 (D_\delta - D_s),$$

$$b = 0,5 (D_s - D_{сн}),$$

$$e = 0,5 (D_{сн} - D - S_2),$$

где

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



## 4. КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

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

Для соединения с одинаковыми фланцами

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

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

Для соединения с разными фланцами или крышкой

$$\phi = 1 - \frac{A_2 \cdot y_n - (y_{\phi 1} \cdot e_1 + y_{\phi 2} \cdot e_2) \cdot b}{\eta_1},$$

где  $\eta_1 = A_2 (y_n + y_{\phi}) + (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot b^2$

Для соединения по черт.3

$$\phi = 1,$$

$$\eta_1 = y_n + y_{\phi} + 2 y_{\phi} \cdot a^2 + 2 y_{\phi} \cdot b^2$$

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

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

где

$$\beta_M = \frac{2 y_{\phi M} \cdot b \cdot e \left(1 - \frac{e}{D_{\text{ср}}}\right) - y_n \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{ср}}}\right)^2}{y_{\phi} + y_n \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{ср}}}\right)^2 + 2 y_{\phi M} \cdot b^2}$$

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

для фланцев по черт.3

$$\beta_M = \frac{2 y_{\phi M} \cdot b \cdot e \left(1 - \frac{e}{D_{\text{ср}}}\right) - y_n \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{ср}}}\right)^2}{y_{\phi} + y_{\phi M} \cdot a^2 + y_n \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{ср}}}\right)^2 + 2 y_{\phi M} \cdot b^2}$$

## 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

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} (\alpha_{\varphi} \cdot t_{\varphi} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta}) L_{\delta o},$$

где  $\eta_1$  - определяется по п.4.1.

Для соединения по черт.3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} (2 \alpha_{\varphi} \cdot t_{\varphi} \cdot h + 2 \alpha_{\kappa} \cdot t_{\kappa} \cdot h_{\kappa} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta} \cdot L_{\delta o}),$$

где  $\eta_1$  - определяется по п.4.1.

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

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} [(\alpha_{\varphi 1} \cdot h_1 + \alpha_{\varphi 2} \cdot h_2) t_{\varphi} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta} \cdot L_{\delta o}]$$

Для соединения с фланцами из разных материалов по черт.3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} [(\alpha_{\varphi 1} \cdot h_1 + \alpha_{\varphi 2} \cdot h_2) t_{\varphi} + 2 \alpha_{\kappa} \cdot t_{\kappa} \cdot h_{\kappa} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta} \cdot L_{\delta o}]$$

5.4. Нагрузка, необходимая для равномерного обжатия прокладки при числе болтов  $Z \leq 8$  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

$$\Delta Q_M = \beta_M \xi_\delta \cdot M \cos \varphi + 2 \beta_T T \cos 2\varphi,$$

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

$$P_{\delta 1} = \alpha (Q_g + F) + R_n - Q_t + \xi_n \alpha_n M \cos \varphi + 2 \alpha_T T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{\delta 1} = \alpha (Q_g + F) + R_n + \xi_n \alpha_n M \cos \varphi + 2 \alpha_T T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{\delta 1} = P_{\text{обж}},$$

$$P_{\delta 1} = 0,4 [\sigma]_\delta^{20} \cdot Z \cdot f_\delta \quad \text{при } p \leq 0,6 \text{ МПа}$$

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

5.7. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях, Н

$$\Delta F_\varepsilon = (1 - \alpha) (Q_g + F) + Q_t + \Delta Q_M$$

## 6. РАСЧЕТ БОЛТОВ (ШПИЛЕК)

Условия прочности болтов

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta 1}}{Z \cdot f_\delta} \leq [\sigma]_\delta^{20},$$

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{P_{\delta 1} + \Delta P_\delta}{Z \cdot f_\delta} \leq [\sigma]_\delta^+$$

## 7. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_n = \frac{P_{\sigma_1}}{\pi \cdot D_{сн} \cdot b_n} \leq [q]$$

8. РАСЧЕТ ФЛАНЦА \*<sup>ж</sup>

8.1. Угол поворота фланца при затяжке

$$\theta = \frac{P_{\sigma_1} \cdot b}{2 \cdot \pi (K_{\phi} + K_{\delta} + K_n)}$$

8.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta \theta = \frac{\Delta P_{\delta} \cdot b + Q_{\phi} (e - 1) + Q \cdot \rho + \left( \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F \right) \cdot e}{2 \cdot \pi \left( K_{\phi} \frac{E^*}{E} + K_{\delta} \frac{E_{\delta}^*}{E_{\delta}} + K_n \right)}$$

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

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot M_1}{(S_0 - c)^2};$$

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

 $C_0$  — определяется по табл. 9.

Для фланцев по черт. 2:

в сечении  $S_1$ ,

$$\sigma_{11} = \sigma_1, \quad \sigma_{12} = -\sigma_1,$$

\*<sup>ж</sup> 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 
$$\sigma_1 = \frac{6 \cdot M_0}{(S_1 - C)^2},$$

$$M_0 = 0,1 \cdot \beta \cdot E \cdot S_3^3 (2 + \beta \cdot h) \theta$$

в сечении  $S_0$

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

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

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - C)} + \Delta \sigma_2, \quad \Delta \sigma_{22} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - C)} - \Delta \sigma_2,$$

где 
$$\Delta \sigma_2 = \frac{6 \cdot \Delta M_1}{(S_0 - C)^2},$$

$$\Delta M_1 = 0,1 \cdot C_3 \cdot \beta \cdot E \cdot S_0^3 (2 + \beta \cdot h) \Delta \theta + C_3 \cdot \left[ \frac{0,38 (Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F)}{2 \cdot \pi} - \frac{\rho \cdot D^2}{4} + \gamma \cdot \rho \cdot h \cdot S_0 \right]$$

$C_3$  - принимается по табл.10.

Для фланцев по черт.2

в сечении  $S_1$

$$\Delta \sigma_{11} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - C)} + \Delta \sigma_1, \quad \Delta \sigma_{12} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - C)} - \Delta \sigma_1,$$

где

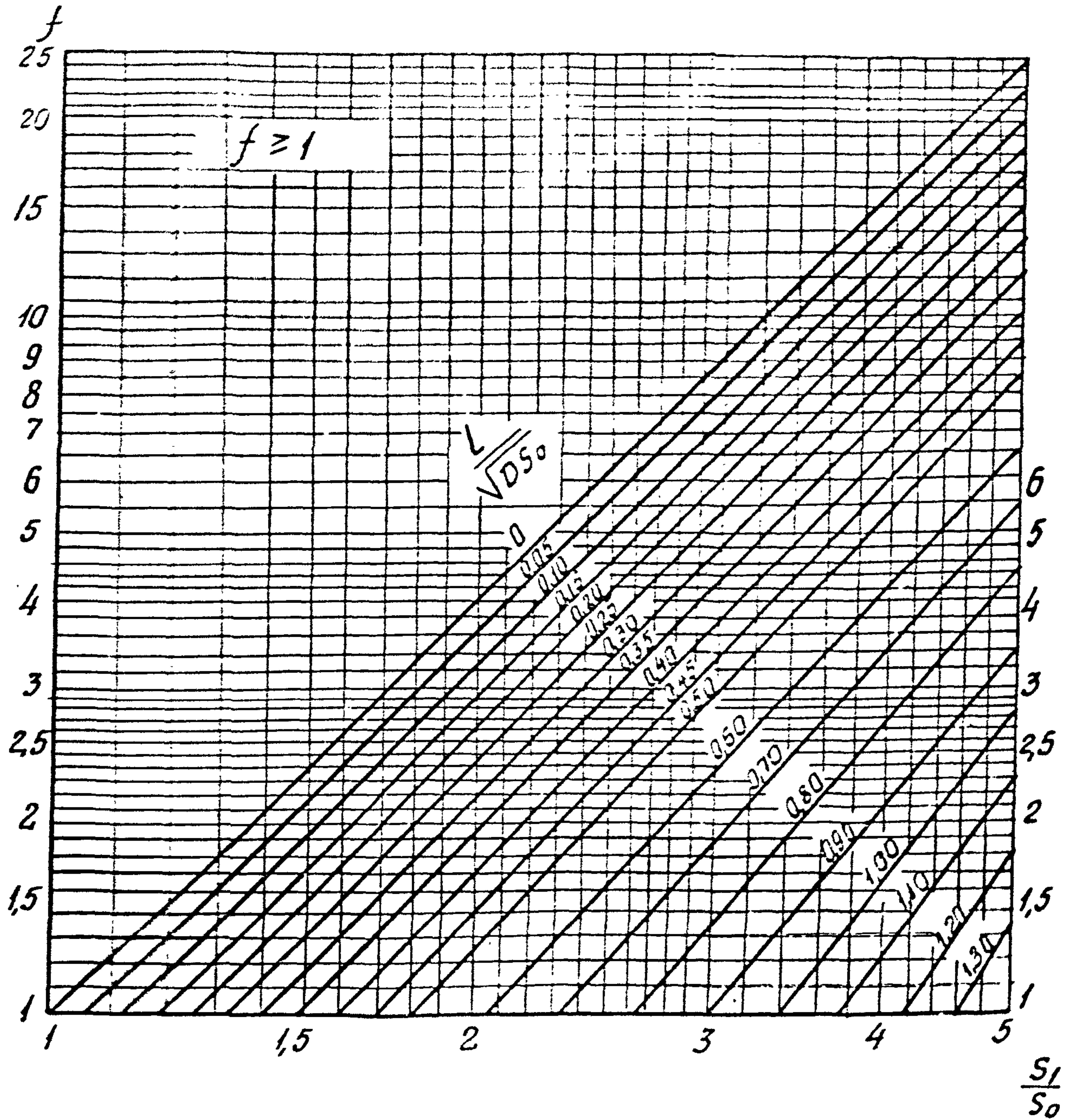
$$\Delta \sigma_1 = \frac{6 \cdot \Delta M_0}{(S_1 - C)^2},$$

$$\Delta M_0 = 0,1 \cdot \beta \cdot E \cdot S_3^3 (2 + \beta \cdot h) \Delta \theta + \frac{0,38 (Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F) - 0,5 \cdot \pi \cdot \rho \cdot D^2 (1 - \frac{2 S_3}{D_{н} - D})}{\pi \cdot \beta^2 \cdot D^2}$$

в сечении  $S_0$

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - C)} + f \cdot \Delta \sigma_1, \quad \Delta \sigma_{22} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{сн}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - C)} - f \cdot \Delta \sigma_1,$$







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

Для фланцев по черт.1,3

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

Для фланцев по черт.2

в сечении  $S_1$ ,

$$\sigma_{13} = \frac{E \cdot h \cdot \theta}{D} + 0,38 \sigma_1, \quad \sigma_{14} = \frac{E \cdot h \cdot \theta}{D} - 0,38 \sigma_1;$$

в сечении  $S_0$

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

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

Для фланцев по черт.1,3

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

Для фланцев по черт.2

в сечении  $S_1$ ,

$$\Delta \sigma_{13} = \frac{E^* \cdot h \cdot \Delta \theta}{D} + \frac{\rho \cdot D}{D_H - D} + 0,38 \Delta \sigma_1, \quad \Delta \sigma_{14} = \frac{E^* \cdot h \cdot \Delta \theta}{D} + \frac{\rho \cdot D}{D_H - D} - 0,38 \Delta \sigma_1,$$

в сечении  $S_0$

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

8.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

Для фланца по черт. I, 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  $S_1$

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

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. I, 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

$$\sigma_1 = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{11};$$

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

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

$\phi_\sigma$  - 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.1,3

$$\Delta \sigma_1 = 0;$$

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

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

для фланцев по черт.2

$$\Delta \sigma_1 = \phi_\sigma \Delta \sigma_{11};$$

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

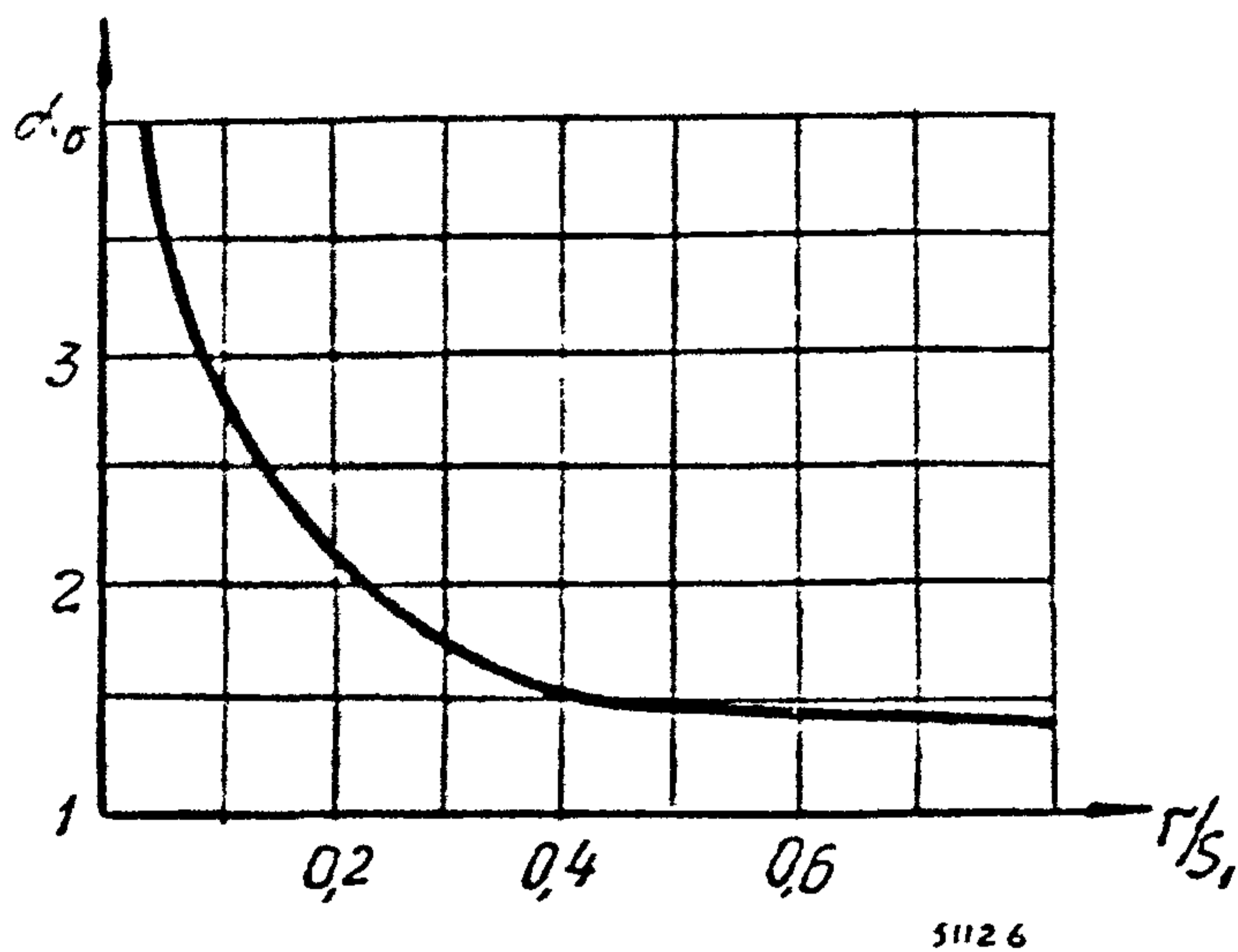
$$\Delta \sigma_3 = \max \{ |\Delta \sigma_{22}|; |\Delta \sigma_{24}|; |\Delta \sigma_{22} - \Delta \sigma_{24}| \}.$$

9.3. Допускаемое число нагружений, вызванных сборками и разборками фланцевого соединения,  $[N]_c$  определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений  $\sigma_a$  по РД РТМ 26-01-133-81.

Допускаемое число циклов нагружения, вызванных пусками и остановками или изменениями режима эксплуатации  $[N]_p$  определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений  $\sigma_a^p$  по РД РТМ 26-01-133-81.

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

$$\theta_k = \frac{P_{\delta_1} \cdot a}{2\pi (K_k + K_s)} + \frac{\Delta P_{\delta} \cdot a}{2\pi (K_k \frac{E_k^*}{E_k} + K_s \frac{E_s^*}{E_s})}$$

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  $[\theta] = 0,013$

$$q_n = \frac{P_{\delta_1} + \Delta P_{\delta} - (Q_3 + F) - d_n \xi_n M \cos \psi + 2d_T \cdot T \cdot \cos 2\psi - Q_4}{\pi \cdot D_{cp} \cdot b_0} \geq m_f$$

где  $\psi = \pi$

## 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	$E, E^+$
фланца	$E_n$
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 <sup>2</sup>	$f_b$
Толщина фланца по внутреннему и наружному диаметрам, мм	$h, h_1$

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 обечайкой, трубой, мм	$S_i$ $S_o$
Толщина обечайки (трубы), мм	$S_o$
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм	$L_{\delta o}$
Число болтов (шпилек), шт	$Z$
Расчетная температура, °С фланца болтов свободного кольца	$t_f$ $t_b$ $t_k$
Температурный коэффициент линейного расширения материала, 1/°С фланца болтов (шпилек) свободного кольца	$\alpha_f$ $\alpha_b$ $\alpha_k$
Коэффициент Пуассона материала прокладки	$\nu_n$
Допускаемое напряжение материала болтов (шпилек) при температуре 20 °С и расчетной, МПа	$[\sigma]_b^{\infty}, [\sigma]_b^r$
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.1)

## 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
$D_\delta = 160$ мм	$S_o = 8$ мм	$E = 1,15 \cdot 10^5$ МПа
$D_{cn} = 121$ мм	$d = 16$ мм	$E_\delta = 2 \cdot 10^5$ 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

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

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

## I.3. Угловая жесткость прокладки

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

где  $\nu_n = 0,4$  по табл.4

## I.4. Расчетная длина болта

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

## I.5. Податливость болтов

$$y_\delta = \frac{L_\delta}{E_\delta \cdot f_\delta \cdot Z} = \frac{46,48}{2 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4} = 0,4035 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

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



## I.6. Изгибная жесткость болтов

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

## I.7. Параметры фланца

## I.7.1. Эквивалентная толщина втулки

$$S_s = S_o = 8 \text{ мм}$$

## I.7.2. Коэффициенты

$$\lambda_1 = \frac{D}{D_n} = \frac{80}{160} = 0,5$$

$$A_0 = 0,06287$$

$$K_1 = \frac{1,38}{1 - \left(\frac{D}{D_n}\right)^2} \cdot \ln \frac{D}{D_n} = \frac{1,38}{1 - \left(\frac{80}{195}\right)^2} \cdot \ln \frac{80}{195} = -1,4784$$

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

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

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

$$A_2 = \frac{2}{1 + A_3 \left(\frac{h}{h_1}\right)^3} = \frac{2}{1 + 0,7620 \left(\frac{20}{17}\right)^3} = 0,8925$$

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

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

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

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

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

$$Q = \pi \cdot D \cdot K_2 \left( \frac{D^2}{4} - f \cdot h \cdot S_0 \right) = 3,1416 \cdot 80 \cdot 0,2454 \left[ \left( \frac{80}{4} \right)^2 - 1,4644 \cdot 20 \cdot 8 \right] = 84230,5 \text{ мм}^3$$

где  $K_2 = 0,2454$  по табл.6

$\psi_1 = 0,495$  по черт.5

$C_1 = 2,4169$  по табл.7

$C_2 = 1,7298$  по табл.8

### 1.7.3. Угловая податливость фланцев

$$\begin{aligned} \chi_{\varphi} &= \frac{6}{E \cdot h^3 \psi_1 \cdot A_1 + 0,5844 \cdot \beta \cdot D \cdot E \cdot S_0^3 \left[ C_1 + (C_1 + C_2) \frac{\beta h}{2} + C_2 \frac{\beta^2 h^2}{2} \right]} = \\ &= \frac{6}{1,15 \cdot 10^5 \cdot 20^3 \cdot 0,495 \cdot 0,9021 + 0,5844 \cdot 0,0708 \cdot 80 \cdot 1,15 \cdot 10^5 \cdot 8^3 \left[ 2,4169 + (2,4169 + 1,7298) \frac{0,0708 \cdot 20}{2} + 1,7298 \frac{0,0708^2 \cdot 20^2}{2} \right]} = \\ &= 0,003348 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Н.мм} \end{aligned}$$

### 1.7.4. Угловая жесткость фланца

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

### 1.7.5. Плечи моментов

$$b = 0,5 (D_0 - D_{сн}) = 0,5(160 - 121) = 19,5 \text{ мм}$$

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

## 2. Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$\alpha = 1 - \frac{A_2 \chi_a - 2 \chi_{\varphi} \cdot b \cdot e}{\eta_1}$$

где  $\eta_1 = A_2 (\chi_n + \chi_0) + 2 \chi_{\varphi} \cdot b^2 = 0,8925(0,1973 \cdot 10^{-6} + 0,4035 \cdot 10^{-6}) + 2 \cdot 0,003348 \cdot 10^{-6} \cdot 19,5^2 = 3,0824 \cdot 10^{-6}$

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

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

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

$$\Delta q = \frac{1,63 \cdot 0,06287 \cdot 12 \cdot 160^2 \cdot 2 \cdot 10^3}{2(160-121) \cdot 1,15 \cdot 10^9 \cdot 20^3} \cdot \frac{45616}{4} = 10 \text{ МПа}$$

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

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

$$P_{\delta_1} = \alpha Q_g + R_n + \Delta Q = 1,64 \cdot 11493,2 + 11404 + 45616 = 75868,8$$

$$P_{\delta_1} = P_{обж} = 45616,0 \text{ Н}$$

$$P_{\delta_1} = 0,4 [\sigma]_\delta^{20} Z \cdot f_\delta = 0,4 \cdot 250 \cdot 4 \cdot 144 = 57600,0 \text{ Н}$$

3.5. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях

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

## 4. РАСЧЕТ БОЛТОВ

Условия прочности болтов

$$\sigma_{\delta_1} = \frac{P_{\delta_1}}{Z \cdot f_\delta} \leq [\sigma]_\delta^{20}$$

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



где для болтов из стали ЭСНІЗ

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

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

$$[\sigma]_{\sigma}^t = [\sigma]_{\sigma}^{20} = 250 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\sigma_1} = \frac{75868,8}{4 \cdot 144} = 131,7 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\sigma_2} = \frac{75868,8 - 7355,6}{4 \cdot 144} = 119,0 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа}$$

### 5. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_n = \frac{P_{\sigma_1}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b_n} \leq [q]$$

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

$$\theta = \frac{P_{\sigma_1} \cdot b}{2 \cdot \pi \cdot (K_{\varphi} + K_{\delta} + K_n)} =$$

$$= \frac{75868,8}{2 \cdot 3,1416 \cdot (298,6711 + 1,7625 + 20,7429) \cdot 10^6} = 0,00074$$

#### 6.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta \theta = \frac{\Delta P_{\sigma_1} \cdot b + Q_{\sigma_1} (e - 1) + \rho \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot (K_{\varphi} + K_{\delta} + K_n)} =$$

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



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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sigma_{23} = 0,38 \cdot \sigma_2 = 0,38 \cdot 118 = 44,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{24} = -0,38 \cdot \sigma_2 = -0,38 \cdot 118 = -44,8 \text{ МПа}$$

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

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{p \cdot D}{2(s_0 - c)} + 0,38 \Delta \sigma_2 = \frac{1 \cdot 80}{2(8-0)} + 0,38 \cdot 3,8 = 6,5 \text{ МПа}$$

$$\Delta \sigma_{24} = \frac{p \cdot D}{2(s_0 - c)} - 0,38 \Delta \sigma_2 = \frac{1 \cdot 80}{2(8-0)} - 0,38 \cdot 3,8 = 3,6 \text{ МПа}$$

6.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

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

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(118+9,5)^2 + (44,8+6,5)^2} - (118+9,5)(44,8+6,5) = 111,1 \\ \sqrt{(-118+1,9)^2 + (-44,8+3,6)^2} - (-118+1,9)(-44,8+3,6) = 101,9 \end{array} \right.$$

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

где  $[\sigma]_0 = 0,8 \sigma_T = 0,8 \cdot 310 = 248,0 \text{ МПа}$

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

## 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 26-11-06-85	Вводная часть
ОСТ 26-01-279-78	Вводная часть, п.2.3
ОСТ 26-01-1298-81	Вводная часть, п.2.1
ОСТ 26-11-04-84	П.2.2
РД РТМ 26-01-133-81	П.9.3