

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

## I. ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

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 малоциклических нагрузках проводят после определения основных размеров фланцевых соединений в соответствии с ГОСТ I2820-80 – ГОСТ I2822-80 или другими нормами проектирования и расчета статической прочности по разд. 6–8.

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

1) циклы нагружения  $N_c$ , вызванные сборками-разборками (нагрузка  $P_b$ );

2) циклы нагружения  $N_p$ , вызванные пусками и остановами или изменениями режима эксплуатации (приращение нагрузки  $\Delta P_p$ ).

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

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

Таблица I

Тип фланцевого соединения	Изолированные			Неизолированные		
	$t_\phi$	$t_x$	$t_\sigma$	$t_\phi$	$t_x$	$t_\sigma$
Плоские приварные встык	$t$	-	$0,97t$	$0,96t$	-	$0,85t$
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

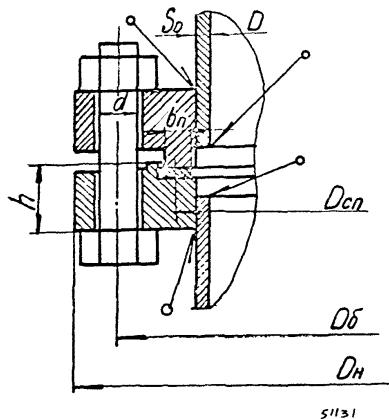
$$[\sigma]_{\delta} = \frac{\sigma_{\tau\sigma}}{\eta_r} ,$$

где  $\sigma_{\tau\sigma}$  - определяется по ОСТ 26-О1-1298-81 или другой нормативной документации;

$\eta_r$  - определяется по табл.2.

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

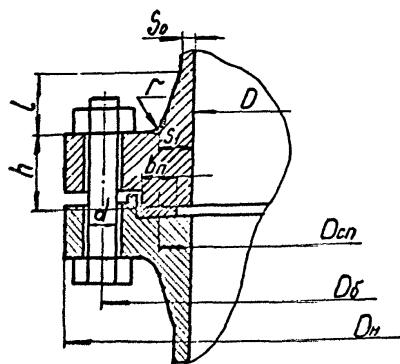
Соединение с плоскими фланцами



51131

Черт. 1

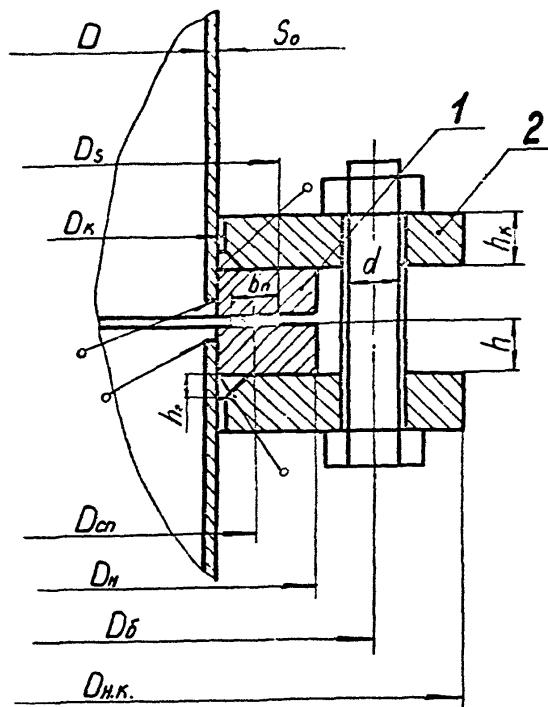
Соединение с фланцами приварными встык



51132

Черт. 2

Соединение со свободными кольцами



51130

1 - фланец; 2 - свободное кольцо

Черт. 3

Таблица 2

Отношение предела текучести к временному сопротивлению	$\Pi_r$	
	затяжка не контролируется	затяжка контролируется
$\frac{\sigma_{r,\epsilon}}{\sigma_{b,\epsilon}} \geq 0,7$	2,8	2,4
$\frac{\sigma_{r,\epsilon}}{\sigma_{b,\epsilon}} < 0,7$	углеродистые стали	2,3
	нержавеющие стали	1,9
		1,8

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

$$[\sigma]_{kc} = \sigma_{rk}$$

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

2.3. При расчете статической прочности фланцев допускаемые напряжения в сечении  $S_r$  ( $[\sigma]_r$ ) и сечении  $S_o$  ( $[\sigma]_o$ ) принимаются по табл.3.

Таблица 3

Тип фланцев	Сечения	
	$S_r$	$S_o$
Плоские, рис.1	-	
Приварные встык, рис.2	$1,3 [\sigma]$	$0,8 \cdot \sigma_r$
Со свободным кольцом, рис.3	-	

где  $[\sigma]$  и  $\sigma_r$  - принимаются по ОСТ 26-ОI-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  $m$ ;  $\varphi_{обж}$ ;  $[q]$ ;  $K$ ;  $V_n$ ;  $E_n$   
принимаются по табл.4.

#### 3.3. Податливость прокладки, мм/Н

$$\gamma_n = \frac{h_n \cdot K}{E_n \cdot \pi \cdot D_{en} \cdot b_n}$$

#### 3.4. Угловая жесткость прокладки, мм.Н

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

#### 3.5. Расчетная длина болта (шпильки), мм

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

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

#### 3.6. Податливость болтов (шпилек), мм/Н

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

где  $f_b$  – принимается по табл.5.

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

$$K_b = \frac{K_0 \cdot d^4 \cdot E_b \cdot Z}{64 \cdot L_b}$$

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

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

Таблица 4

Материал прокладки	Коэффициент $\mu$	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$ , МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$ , МПа	Коэффициент обжатия, к	Коэффициент Пуассона, $\nu_n$	Условный модуль сжатия $E_n \times 10^{-5}$ , МПа
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,04	0,45	$0,3 \cdot 10^{-4} x x(I + \frac{b_n}{2h_n})$
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	0,45	$0,4 \cdot 10^{-4} x x(I + \frac{b_n}{2h_n})$
* 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 1 - 3 мм	2,5	20,0	130,0	0,90	0,40	0,02
Фторопласт-4 ТУ 6 -05-810-76 при толщине 1 - 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 <i>d</i> , мм	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M36	M42	M48
Площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы										
$f_{\sigma}$ , $\text{мм}^2$	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

$$S_3 = K S_o$$

где  $K$  - определяется по черт.4

Для фланцев по черт.1, 3

$$S_3 = S_o$$

## 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  $\lambda_1 = \frac{D}{D_b}$

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

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

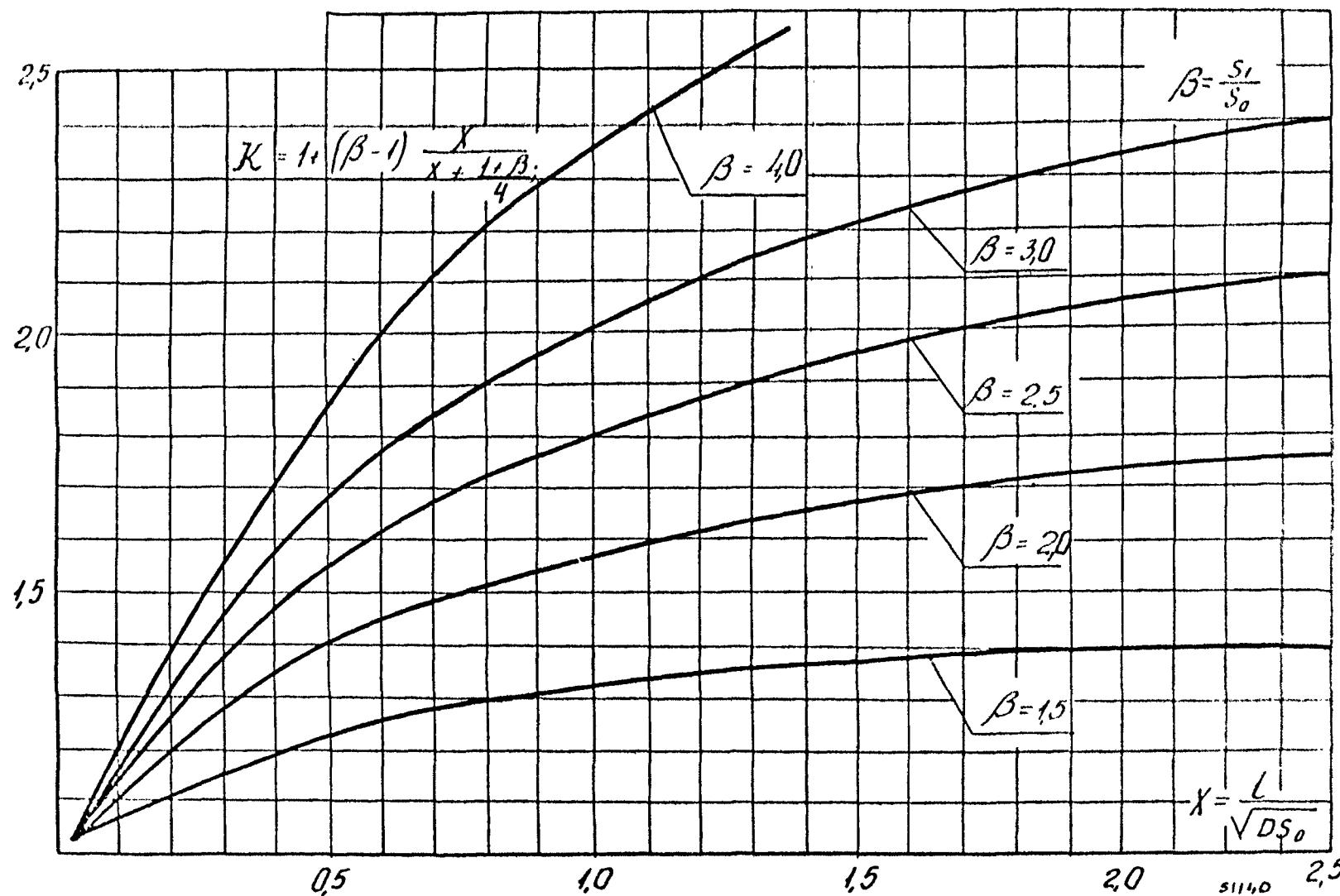
$$\text{где } K_1 = \frac{1,38}{1 - \left( \frac{D}{D_n} \right)^2} \cdot \ln \frac{D}{D_n} ,$$

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

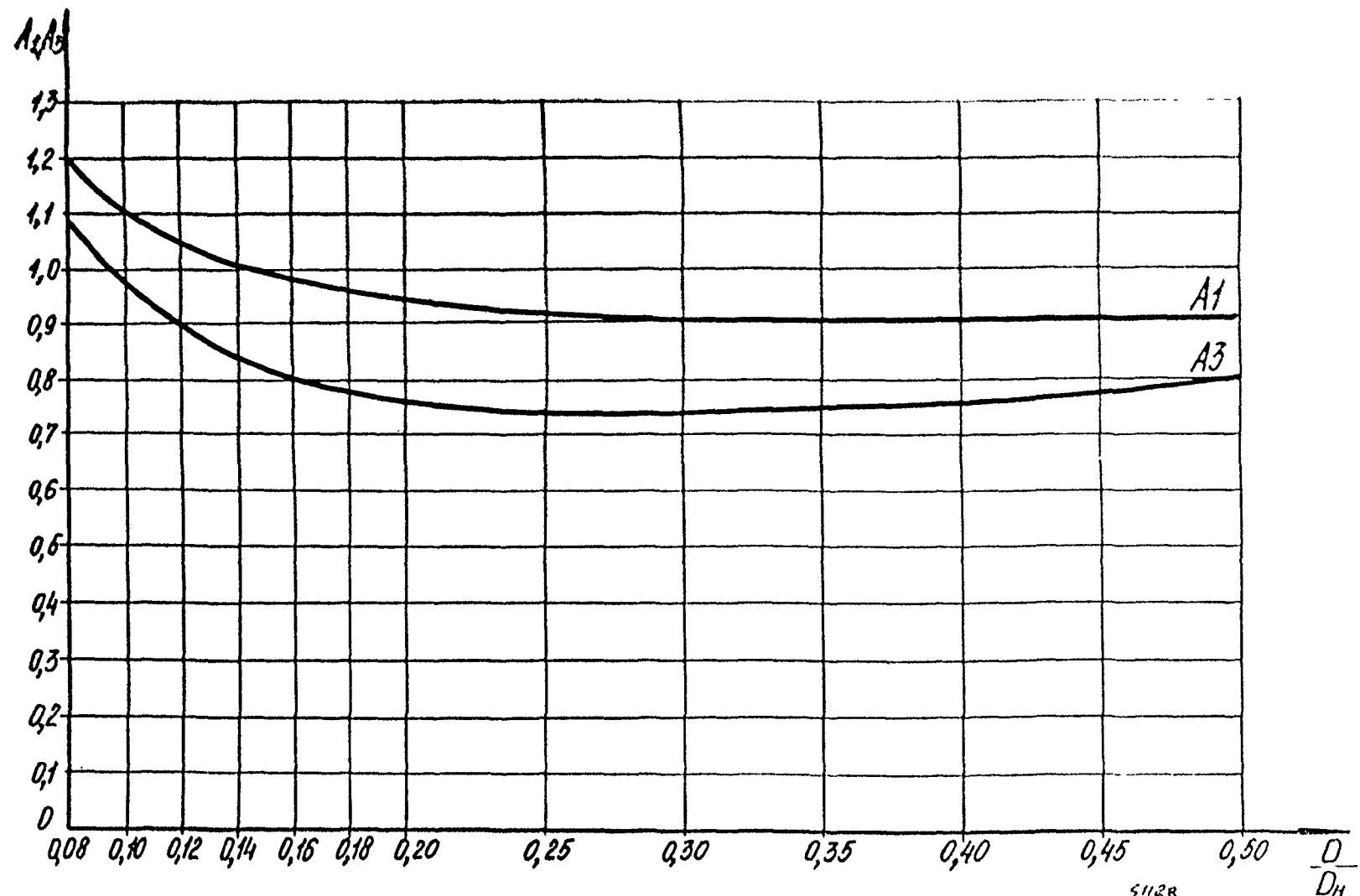
$$\text{где } A_3 = \frac{0,725(1-K_1) - 1,613K_1\left(\frac{D}{D_n}\right)^2 + \ln \frac{D}{D_n}}{\left[0,725(1-K_1) - 1,613K_1\right]\frac{D}{D_n}} ,$$

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

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

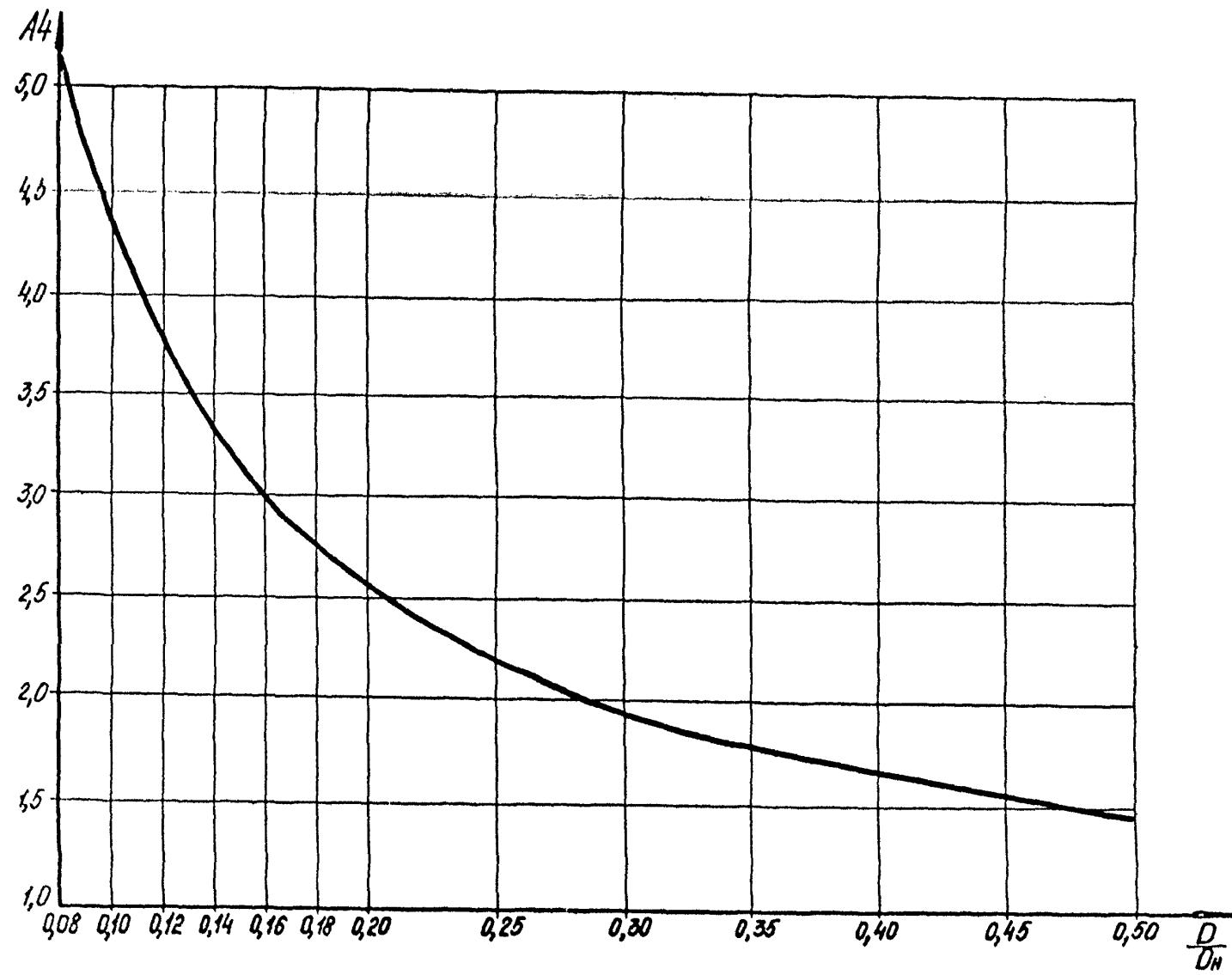


Черт. 4



Черт. 5

ДК 26-О1-163-87 С.13



Черт. 6

$$f_{f_4} = \frac{\left[1 - \left(\frac{D}{D_n}\right)^2\right] (D_n + D)}{2 \frac{D}{D_n} \left[1,38 + 0,62 \left(\frac{D}{D_n}\right)^2\right] (D_n - D)}$$

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

$$A_1 = I, \quad A_3 = I, \quad A_4 = I, \quad \lambda_2 = 1$$

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

$\psi$  - принимается по черт.7.

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

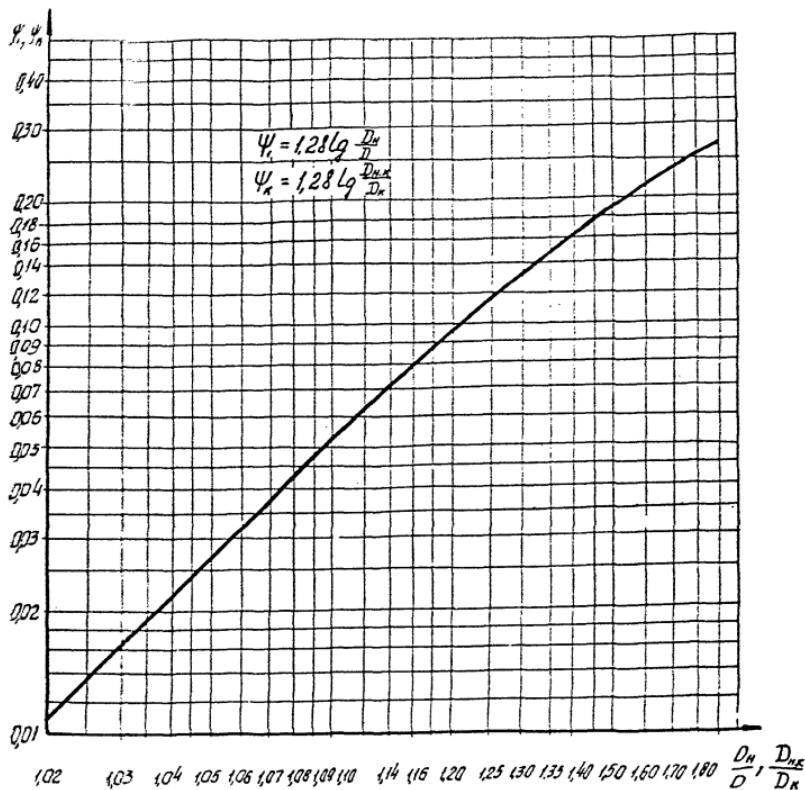
Для фланцев по черт.2

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

Для фланцев по черт.1,3

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

где  $K_2$  - определяется по табл.6.



Черт. 7

Таблица 6

$\frac{h}{S_o}$	$K_2$ при соотношении $\frac{S_o}{D}$												
	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. I, 3

$$\psi_{\phi} = \frac{6}{Eh^3\Psi_A + 0,5844\beta D E S_c^3 [C_1 + (C_1 + C_2) \frac{\beta h}{2} + C_2 \frac{\beta^2 h^2}{2}]} ;$$

по черт. 2

$$\psi_{\phi} = \frac{6}{Eh^3\Psi_A + 0,5844\beta D E S_c^3 \left( 1 + \beta h + \frac{\beta^2 h^2}{2} \right)}$$

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,  $\frac{I}{H \cdot \text{мм}}$

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

для фланцев по черт. I, 2

$$\psi_{\phi H} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_s}{E \cdot D_s \cdot h^3}$$

для фланцев по черт. 3

$$\psi_{\phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_s}{E D_s h^3},$$

$$\psi_{\phi M_C} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_s}{E_K D_{M_C} h_K^3}$$

3.8.5. Угловая жесткость фланцев, Н·мм

$$K_{\phi} = \frac{I}{\psi_{\phi}}.$$

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

$$\psi_K = \frac{6}{E_K h_K^3 \Psi_K},$$

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

Таблица 7

$\frac{h}{s_0}$	$C_I$ при соотношении $\frac{s_0}{D}$													
	0,0050	0,0075	0,1000	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,1000	0,1200	
2	I, I548	I, I907	I, 2276	I, 2295	I, 2789	I, 4507	I, 4I53	I, 420I	I, 4652	I, 8523	2, I720	2, 38I2	2, 5683	
3	I, I496	I, I83I	I, 2I72	I, 2I69	I, 2652	I, 44II	I, 40I4	I, 4037	I, 4479	I, 8262	2, 2265	2, 4526	2, 6384	
4	I, I449	I, I765	I, 2083	I, 206I	I, 2536	I, 4330	I, 3899	I, 390I	I, 4338	I, 8058	2, 252I	2, 4873	2, 677I	
5	I, I407	I, I706	I, 2004	I, I967	I, 2433	I, 4262	I, 380I	I, 3787	I, 4220	I, 7895	2, 266I	2, 5068	2, 6989	
6	I, I369	I, I653	I, I935	I, I885	I, 2350	I, 4202	I, 37I8	I, 3690	I, 4I20	I, 7762	2, 2744	2, 5I87	2, 7I22	
	I, I334	I, I606	I, I874	I, I8I2	I, 2274	I, 4I5I	I, 3645	I, 3690	I, 4034	I, 765I	2, 2795	2, 5266	2, 72I0	

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	I,0345	I,0395	I,0401	I,0192	I,0575	I,2664	0,I868	I,I656	I,I993	I,4581	I,6383	I,7053	I,7804
3	I,0264	I,0288	I,0266	I,0047	I,0409	I,2446	I,I649	I,I426	I,I743	I,4I6I	I,6734	I,7542	I,8267
4	I,0I96	I,0202	I,0I59	0,9935	I,028I	I,228I	I,I485	I,I256	I,I560	I,387I	I,6822	I,7703	I,8450
5	I,0I40	I,0I30	I,0073	0,9845	I,0I80	I,2I52	I,I357	I,II25	I,I420	I,3658	I,6830	I,7756	I,85I7
6	I,009I	I,0070	I,0002	0,9772	I,0098	I,2048	I,I255	I,I02I	I,I309	I,3495	I,68I0	I,7766	I,8536
7	I,0049	I,00I9	0,9942	0,97I0	I,0030	I,I963	I,II72	I,0936	I,I220	I,3366	I,678I	I,7759	I,8536

## 3.8.7. Угловая жесткость свободного кольца, Н·мм

$$K_{\kappa} = \frac{I}{J_{\kappa}}$$

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

$$\gamma_{kp} = \frac{X_{kp}}{E \cdot \delta_{kp}^3},$$

где  $K_e = -\frac{D_H}{D_{cn}}$

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

## 3.8.9. Угловая жесткость крышки, мм

$$K_{kp} = \frac{l}{J_{kp}}$$

## 3.8.10. Плечи моментов, мм

Для фланцев по черт. 1, 2

$$b = 0,5 (D_s - D_{cn})$$

$$e = 0,5 (D_{cn} - D - S_3)$$

Для фланцев по черт. 3

$$Q = 0,5 (D_s - D_s),$$

$$b = 0,5 (D_s - D_{cn}),$$

$$e = 0,5 (D_{cn} - D - S_3),$$

где  $D_s = 0,5 (D_H + D_{\kappa} + 2h_2)$

#### 4. КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

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

Для соединения с одинаковыми фланцами

$$\phi = I - \frac{A_2 \cdot \gamma_n - 2 \gamma_\phi \cdot b \cdot e}{\eta},$$

где  $\eta = A_2 (\gamma_n + \gamma_\delta) + 2 \gamma_\phi \cdot b^2$

Для соединения с разными фланцами или крышкой

$$\phi = I - \frac{A_2 \gamma_n - (\gamma_{\phi 1} e_1 + \gamma_{\phi 2} e_2) / b}{\eta},$$

где  $\eta = A_2 (\gamma_n + \gamma_\delta) + (\gamma_{\phi 1} + \gamma_{\phi 2}) b^2$

Для соединения по черт.3

$$\phi = I,$$

$$\eta = \gamma_n + \gamma_\delta + 2 \gamma_e Q^2 + 2 \gamma_\phi b^2$$

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

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

где  $\beta_M = \frac{2 \cdot \gamma_{\phi M} \cdot b \cdot e / (1 - \frac{e}{D_{ext}}) - \gamma_n / (\frac{D_e}{D_{ext}})^2}{\gamma_\delta + \gamma_n (\frac{D_e}{D_{ext}})^2 + 2 \gamma_{\phi M} \cdot b^2}$

$$\beta_T = \frac{\gamma_e \cdot h \cdot b}{0,5 (\gamma_\delta + \gamma_n) + 2 \gamma_\phi b^2}$$

для фланцев по черт.3

$$\beta_M = \frac{2 \gamma_{\phi M} \cdot b \cdot e / (1 - \frac{e}{D_{ext}}) - \gamma_n / (\frac{D_e}{D_{ext}})^2}{\gamma_\delta + \gamma_{\phi M} \cdot Q^2 + \gamma_n (\frac{D_e}{D_{ext}})^2 + 2 \gamma_{\phi M} \cdot b^2}$$

## 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. I, 2

$$Q_t = \frac{1}{\eta_t} (\alpha_\phi t_\phi - \alpha_\sigma t_\sigma) L_{so},$$

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

для соединения по черт. 3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_t} (2\alpha_\phi t_\phi h + 2\alpha_\sigma t_\sigma h_\sigma - \alpha_\sigma t_\sigma L_{so}),$$

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

для соединения с фланцами из разных материалов по черт. I, 2

$$Q_t = \frac{1}{\eta_t} [(\alpha_{\phi_1} h_1 + \alpha_{\phi_2} h_2) t_\phi - \alpha_\sigma t_\sigma L_{so}]$$

для соединения с фланцами из разных материалов по черт. 3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_t} [(\alpha_{\phi_1} h_1 + \alpha_{\phi_2} h_2) t_\phi + 2\alpha_\sigma t_\sigma h_\sigma - \alpha_\sigma t_\sigma L_{so}]$$

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

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

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

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

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

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

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

$$P_{\sigma_1} = \sigma/(Q_g + F) + R_n - Q_r + \xi_n \sigma_n M \cos \varphi + 2 \sigma_r T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{\sigma_2} = \sigma/(Q_g + F) + R_n + \xi_n \sigma_n M \cos \varphi + 2 \sigma_r T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_\sigma = P_{\max},$$

$$P_\sigma = 0.4 [Q]_\sigma^{**} Z f_\sigma \quad \text{при } P \leq 0,6 \text{ МПа}$$

где

$$\xi_n = \frac{4}{D_{cn}} \quad ; \quad \varphi = \pi$$

5.7. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях, Н

$$\Delta P_\sigma = (1 - \sigma)/(Q_g + F) + Q_r + \Delta Q_M$$

## 6. РАСЧЕТ БОЛТОВ (ШПИЛЕК)

Условия прочности болтов

$$\sigma_{\sigma_1} = \frac{P_{\sigma_1}}{Z \cdot f_\sigma} \leq [\sigma]_\sigma^{**},$$

$$\sigma_{\sigma_2} = \frac{P_{\sigma_2} + \Delta P_\sigma}{Z \cdot f_\sigma} \leq [\sigma]_\sigma^+,$$

## 7. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_n = \frac{P_{\sigma_i} \cdot b}{\pi \cdot D_{on} \cdot b_n} \leq [q]$$

## 8. РАСЧЕТ ФЛАНЦА \*

8.1. Угол поворота фланца при затяжке

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

8.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta \theta = \frac{\Delta P_{\sigma_i} \cdot b + Q_g (e - 1) + Q \cdot p + \left( \frac{4 \cdot M}{D_{on}} + F \right) \cdot e}{2\pi (K_p \frac{E'}{E} + K_s \frac{E'}{E_s} + K_n)}$$

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

Для фланцев по черт.1,3

$$\sigma_{2f} = \sigma_2, \quad \sigma_{2e} = -\sigma_2,$$

где

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

$$M_r = 0,1 \cdot C_o \cdot \beta \cdot E \cdot S_o^3 / (2 + \beta \cdot h) \cdot \theta$$

$C_o$  – определяется по табл.9.

Для фланцев по черт.2:

в сечении  $S_1$

$$\sigma_{11} = \sigma_1, \quad \sigma_{21} = -\sigma_1,$$

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

Таблица 9

$\frac{h}{S_0}$	$C_0$ при соотношении $\frac{S_a}{D}$													
	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	I,0100	I,0093	I,0003	0,9938	I,0092	I,I042	I,0639	I,0511	I,0638	I,I502	I,I986	I,2004	I,2076	
3	I,0006	0,9962	0,9837	0,9740	0,9874	I,0839	I,0397	I,0242	I,0354	I,I092	I,I874	I,I877	I,I929	
4	0,9920	0,9847	0,9693	0,9571	0,9689	I,0669	I,0195	I,0020	I,0121	I,0774	I,I723	I,I715	I,I749	
5	0,9843	0,9745	0,9567	0,9424	0,9531	I,0524	I,0025	0,9834	0,9927	I,0519	I,I578	I,I562	I,I555	
6	0,9773	0,9653	0,9455	0,9296	0,9394	I,0398	0,9879	0,9675	0,9763	I,0310	I,I449	I,I429	I,I443	
7	0,9709	0,9571	0,9356	0,9182	0,9273	I,0289	0,9753	0,9539	0,9622	I,0136	I,I337	I,I313	I,I322	

РД 23-01-153-6

• 25

где  $\sigma_r = \frac{6 \cdot M_o}{(S_o - C)^2} ,$

$$M_o = Q_1 \beta E S_o^3 / (2 + \beta h) \theta$$

в сечении  $S_o$

$$\sigma_{e1} = f \cdot \sigma_r , \quad \sigma_{e2} = -f \cdot \sigma_r ,$$

где  $f$  – определяется по черт.8.

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

для фланцев по черт.1,3

$$\Delta \sigma_{e1} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} + \Delta \sigma_e , \quad \Delta \sigma_{e2} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} - \Delta \sigma_e ,$$

где  $\Delta \sigma_e = \frac{6 \cdot \Delta M_e}{(S_o - C)^2} ,$

$$\Delta M_e = Q_1 C_3 \beta E S_o^3 / (2 + \beta h) \Delta \theta + C_3 \left[ \frac{Q_38 / Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{2 \cdot \pi} - \frac{\rho \cdot D^2}{4} + f \cdot \rho \cdot h \cdot S_o \right]$$

$C_3$  – принимается по табл.10.

для фланцев по черт.2

в сечении  $S_r$

$$\Delta \sigma_{e1} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_r - C)} + \Delta \sigma_e , \quad \Delta \sigma_{e2} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_r - C)} - \Delta \sigma_e ,$$

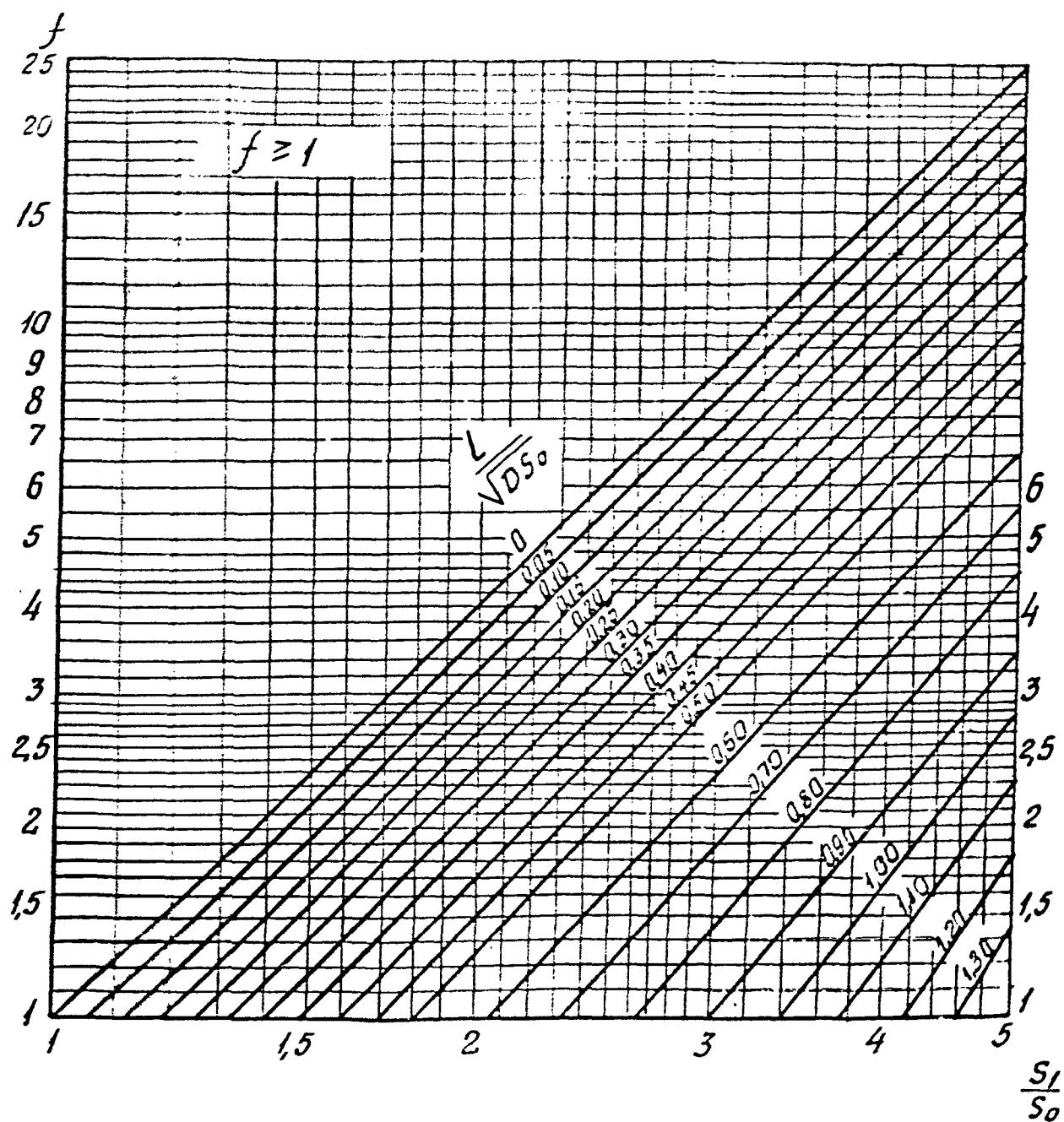
где

$$\Delta \sigma_e = \frac{6 \cdot \Delta M_e}{(S_r - C)^2} ,$$

$$\Delta M_e = Q_1 \beta E S_r^3 / (2 + \beta h) \Delta \theta + \frac{Q_38 / Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F - 0.5 \pi \rho D^2 / (1 - \frac{2 S_r}{D_r - D})}{\pi \cdot \beta^2 \cdot D^2}$$

в сечении  $S_o$

$$\Delta \sigma_{e1} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} + f \cdot \Delta \sigma_e , \quad \Delta \sigma_{e2} = \frac{Q_g + \frac{4 \cdot M}{D_{en}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} - f \cdot \Delta \sigma_e$$



Черт. 8

8.5. Окружные напряжения на наружной и внутренней поверхностих 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  $S_o$

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

в сечении  $S_o$

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

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

Для фланцев по черт. I,3

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

Для фланцев по черт.2

в сечении  $S_o$

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

в сечении  $S_o$

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

8.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

Для фланца по черт.1,3

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{z1} + \Delta\sigma_{z1})^2 + (\sigma_{z3} + \Delta\sigma_{z3})^2 - (\sigma_{z1} + \Delta\sigma_{z1})(\sigma_{z3} + \Delta\sigma_{z3})} \\ \sqrt{(\sigma_{z2} + \Delta\sigma_{z2})^2 + (\sigma_{z4} + \Delta\sigma_{z4})^2 - (\sigma_{z2} + \Delta\sigma_{z2})(\sigma_{z4} + \Delta\sigma_{z4})} \end{array} \right\} \leq [\sigma]_o$$

Для фланца по черт.2

в сечении  $S_1$

$$\sigma_{s_1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{n1} + \Delta\sigma_{n1})^2 + (\sigma_{z3} + \Delta\sigma_{z3})^2 - (\sigma_{n1} + \Delta\sigma_{n1})(\sigma_{z3} + \Delta\sigma_{z3})} \\ \sqrt{(\sigma_{z2} + \Delta\sigma_{z2})^2 + (\sigma_{n4} + \Delta\sigma_{n4})^2 - (\sigma_{z2} + \Delta\sigma_{z2})(\sigma_{n4} + \Delta\sigma_{n4})} \end{array} \right\} \leq [\sigma]_1$$

в сечении  $S_0$

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{z1} + \Delta\sigma_{z1})^2 + (\sigma_{z3} + \Delta\sigma_{z3})^2 - (\sigma_{z1} + \Delta\sigma_{z1})(\sigma_{z3} + \Delta\sigma_{z3})} \\ \sqrt{(\sigma_{z2} + \Delta\sigma_{z2})^2 + (\sigma_{z4} + \Delta\sigma_{z4})^2 - (\sigma_{z2} + \Delta\sigma_{z2})(\sigma_{z4} + \Delta\sigma_{z4})} \end{array} \right\} \leq [\sigma]_0$$

## 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

$$\sigma_1 = 0;$$

$$\sigma_2 = \max \{|\sigma_{z1}|; |\sigma_{z3}|; |\sigma_{z1} - \sigma_{z3}|\} \cdot 1,5;$$

$$\sigma_3 = \max \{|\sigma_{z2}|; |\sigma_{z4}|; |\sigma_{z2} - \sigma_{z4}|\} \cdot 1,5,$$

для фланцев по черт.2

$$\sigma_1 = \phi_g \cdot \sigma_n;$$

$$\sigma_2 = \max \{|\sigma_{z1}|; |\sigma_{z3}|; |\sigma_{z1} - \sigma_{z3}|\}$$

$$\sigma_3 = \max \{|\sigma_{z2}|; |\sigma_{z4}|; |\sigma_{z2} - \sigma_{z4}|\}.$$

$\sigma_\sigma$  - 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

$$\Delta \sigma_r = \sigma_\sigma \Delta \sigma_n;$$

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

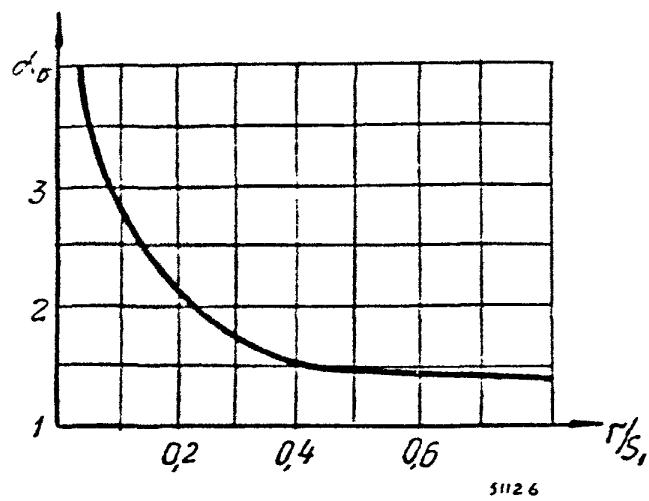
$$\Delta \sigma_3 = \max \{ |\Delta \sigma_{22}|; |\Delta \sigma_{24}|; |\Delta \sigma_{22} - \Delta \sigma_{24}| \}.$$

9.3. Допускаемое число нагружений, вызванных сборками и разборками фланцевого соединения,  $[N]_c$  определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений  $\sigma_a$  по РД РТМ 26-ОI-I33-8I.

Допускаемое число циклов нагружения, вызванных пусками и остановами или изменениями режима эксплуатации  $[N]_p$  определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений  $\sigma_a^p$  по РД РТМ 26-ОI-I33-8I.

9.4. Оценка долговечности производится по формуле

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



Черт. 9

Таблица 10

$\frac{S_o}{D}$	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

$\frac{S_o}{D}$	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

$$\theta_e = \frac{P_{\delta_1} \cdot a}{2\pi(K_e + K_s)} + \frac{\Delta P_{\delta} \cdot a}{2\pi(K_e \frac{E_e^*}{E_k} + K_s \frac{E_s^*}{E_b})}$$

10.2. Кольцевое напряжение в свободном кольце, МПа

$$\sigma_{kc} = \frac{E_e^* \cdot h_e \cdot \theta_e}{D_e}$$

10.3. Условие прочности

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

## II. УСЛОВИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

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

где  $[\theta] = 0,013$ 

$$Q_h = \frac{P_{\delta_1} + \Delta P_{\delta} - (Q_g + F) - d_h \xi_n M \cos \varphi + 2d_r T \cos 2\varphi - Q_f}{\pi \cdot D_{cr} \cdot b_o} \geq m_f$$

зде  $\varphi = \pi$

## ПРИЛОЖЕНИЕ I

## Справочное

## ТЕРМИНЫ И ИХ ОЗНАЧЕНИЯ

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	$D_{\kappa}$
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	$E_{\kappa}, E_{\kappa}^+$
Условный модуль сжатия материала прокладки, МПа	$E_n$
Внешняя осевая сила (сжимает со знаком минус), Н	$F$
Площадь поперечного сечения болта(шпильки) по внутреннему диаметру резьбы, $\text{мм}^2$	$f_b$
Толщина фланца по внутреннему и наружному диаметрам, мм	$h, h_r$

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Справочное

Пример расчета фланцевого соединения  
(черт. I)

Исходные данные

$$D = 80 \text{ мм}$$

$$h = 20 \text{ мм}$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$D_o = 195 \text{ мм}$$

$$h_o = 2 \text{ мм}$$

$$\rho = 1,0 \text{ МПа}$$

$$D_s = 160 \text{ мм}$$

$$S_o = 8 \text{ мм}$$

$$E = 1,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$D_c = 121 \text{ мм}$$

$$d = 16 \text{ мм}$$

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$b_o = 12 \text{ мм}$$

$$Z = 4 \text{ шт.}$$

$$E_n = 2 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$h_o = 17 \text{ мм}$$

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

$$\gamma_n = \frac{h_o \cdot K}{E_n \cdot t \cdot D_o \cdot b_n} = \frac{2,0,9}{2 \cdot 10^3 \cdot 3,1416 \cdot 121 \cdot 12} = 0,1973 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

$$\text{где } E_n = 2 \cdot 10^3 \text{ МПа} \quad \text{по табл. 4}$$

$$K = 0,9$$

#### I.3. Угловая жесткость прокладки

$$K_n = \frac{D_o \cdot b_n^3 \cdot E_n}{12(1 - V_n^2) \cdot h_o} = \frac{121 \cdot 12^3 \cdot 2 \cdot 10^3}{12 \cdot (1 - 0,4^2) \cdot 2} = 20,7429 \cdot 10^6 \text{ с.н.и.}$$

$$\text{где } V_n = 0,4 \quad \text{по табл. 4}$$

#### I.4. Расчетная длина болта

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

#### I.5. Податливость болтов

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

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

I.6. Изгибная жесткость болтов

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

I.7. Параметры фланца

I.7.1. Эквивалентная толщина втулки

$$S_s = S_o = 8 \text{ мм}$$

I.7.2. Коэффициенты

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

$$A_o = 0,06287$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

где  $K_2 = 0,2454$  по табл.6

$\psi = 0,495$  по черт.5

$C_1 = 2,4169$  по табл.7

$C_2 = 1,7298$  по табл.8

### 1.7.3. Угловая податливость фланцев

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{6}{E \cdot h^3 \psi \cdot A + 0,5844 \cdot \beta \cdot D \cdot E \cdot S_o^3 [C_1 + (C_1 + C_2) \frac{\beta \cdot h}{2} + C_2 \frac{\beta \cdot h^2}{2}]} = \\ = \frac{6}{1,15 \cdot 10^5 \cdot 20^3 \cdot 0,495 \cdot 0,9021 + 0,5944 \cdot 0,0708 \cdot 80 \cdot 1,15 \cdot 10^5 \cdot 8^3 / 2,4169} \\ + (2,4169 + 1,7298) \frac{0,0708 \cdot 20}{2} + 1,7298 \frac{0,0708 \cdot 20^2}{2} = \\ = 0,003348 \cdot 10^{-6} \text{ 1/N.мм}$$

### 1.7.4. Угловая жесткость фланца

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

### 1.7.5. Плечи моментов

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

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

### 2. Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$\alpha = 1 - \frac{A_e Y_e - 2 Y_\varphi b \cdot c}{l_r}$$

$$\text{где } l_r = A_e (Y_e + Y_\varphi) + 2 Y_\varphi b^2 = 0,8925(0,1973 \cdot 10^{-6} + 0,4035 \cdot 10^{-6}) + \\ + 2 \cdot 0,003348 \cdot 10^{-6} \cdot 19,5^2 = 3,0824 \cdot 10^{-6}$$

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

### 3. РАСЧЕТ НАГРУЗОК

#### 3.1. Равнодействующая внутреннего давления

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

#### 3.2. Реакция прокладки в рабочих условиях

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

#### 3.3. Нагрузка, необходимая для равномерного обжатия прокладки

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

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

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

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

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

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

$$P_{\sigma_1} = \alpha Q_g + R_n + \Delta Q = 1,64 \cdot 11493,2 + 11404 + 45616 = 75868,8$$

$$P_{\sigma_1} = P_{обж} = 45616,0 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma_1} = 0,4 [\sigma]_{\sigma}^{20} Z \cdot f_{\sigma} = 0,4 \cdot 250 \cdot 4 \cdot 144 = 57600,0 \text{ Н}$$

#### 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

$$\sigma_{\sigma} = \frac{P_{\sigma_1}}{Z \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma]_{\sigma}^{20}$$

$$\sigma_{\sigma} = \frac{P_{\sigma_1} + \Delta P_{\sigma}}{Z \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma]_{\sigma}^{+}$$

где для болтов из стали 30Х13

$[\sigma]_{\text{с}}^{20} = 250 \text{ МПа}$   
расчет проведен при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , поэтому

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

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

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

## 5. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

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

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

$$\theta = \frac{P_{\text{с}} \cdot b}{2 \cdot \pi \cdot (K_{\phi} + K_{\delta} + K_n)} = \\ = \frac{75868,8}{2 \cdot 3,1416 \cdot (298,6711 + 1,7625 + 20,7429) \cdot 10^6} = 0,00074$$

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

$$\Delta \theta = \frac{\Delta P_{\text{с}} \cdot b + Q_{\text{с}} / (e - 1) + Q \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot (K_{\phi} + K_{\delta} + K_n)} = \\ = \frac{-7355,6 \cdot 19,5 + 11493,2 (16,5 - 3,7) + 84230,5 \cdot 1}{2 \cdot 3,1416 \cdot (289,6711 + 1,7625 + 20,7429) \cdot 10^6} = 0,000044$$

6.3. Меридиональное напряжение на наружной и внутренней поверхности обечайки при зетяжке

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

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot M_r}{(S_o - C)^2},$$

$$M_r = 0,1 C_o \beta E S_o^3 / 2 + \beta h / \theta = 0,1 \cdot 1,1941 \cdot 0,0708 \cdot 1,15 \cdot 10^5 \cdot$$

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

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

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

где  $C_o = 1,1941$  по табл.9

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

$$\Delta \sigma_{21} = \frac{Q_g}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} + \Delta \sigma_2, \quad \Delta \sigma_{22} = \frac{Q_g}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} - \Delta \sigma_2,$$

$$\Delta \sigma_2 = \frac{6 \cdot \Delta M_r}{(S_o - C)^2},$$

$$\Delta M_r = 0,1 C_o \beta E S_o^3 / 2 + \beta h / \Delta \theta + C_3 \left( \frac{0,38 Q_g}{2 \cdot \pi} - \frac{\rho \cdot D^2}{4} + f \rho h S_o \right) =$$

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

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

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

где  $C_3 = 0,0514$  по табл.10

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

$$\Delta \tilde{\sigma}_2 = \frac{II493,2}{3,1416 \cdot 80 \cdot (8-0)} = 3,8 = 1,9 \text{ МПа}$$

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

$$\tilde{\sigma}_{23} = 0,38 \cdot \tilde{\sigma}_2 = 0,38 \cdot II8 = 44,8 \text{ МПа}$$

$$\tilde{\sigma}_{24} = -0,38 \cdot \tilde{\sigma}_2 = -0,38 \cdot II8 = -44,8 \text{ МПа}$$

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

$$\Delta \tilde{\sigma}_{23} = \frac{\rho \cdot D}{2(S_o - C)} + 0,38 \Delta \tilde{\sigma}_2 = \frac{I \cdot 80}{2(8-0)} + 0,38 \cdot 3,8 = 6,5 \text{ МПа}$$

$$\Delta \tilde{\sigma}_{24} = \frac{\rho \cdot D}{2(S_o - C)} - 0,38 \Delta \tilde{\sigma}_2 = \frac{I \cdot 80}{2(8-0)} - 0,38 \cdot 3,8 = 3,6 \text{ МПа}$$

6.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

$$\tilde{\sigma}_{S_o} = \max \left\{ \sqrt{(\tilde{\sigma}_{21} + \Delta \tilde{\sigma}_{21})^2 + (\tilde{\sigma}_{23} + \Delta \tilde{\sigma}_{23})^2 - (\tilde{\sigma}_{21} + \Delta \tilde{\sigma}_{21})(\tilde{\sigma}_{23} + \Delta \tilde{\sigma}_{23})}, \sqrt{(\tilde{\sigma}_{22} + \Delta \tilde{\sigma}_{22})^2 + (\tilde{\sigma}_{24} + \Delta \tilde{\sigma}_{24})^2 - (\tilde{\sigma}_{22} + \Delta \tilde{\sigma}_{22})(\tilde{\sigma}_{24} + \Delta \tilde{\sigma}_{24})} \right\} \leq [\sigma]_o$$

$$\tilde{\sigma}_{S_o} = \max \left\{ \sqrt{(II8+9,5)^2 + (44,8+6,5)^2 - (II8+9,5)(44,8+6,5)} = III, I, \sqrt{(-II8+1,9)^2 + (-44,8+3,6)^2 - (-II8+1,9)(-44,8+3,6)} = IOI, 9 \right.$$

$$III, I \text{ МПа} \leftarrow 248,0 \text{ МПа}$$

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

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

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

## I. 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 В ПЕРВЫЕ

## 5. ССЫЛЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение документа, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта перечисления, приложения
ООС 26-II-06-65	Вводная часть
ООС 26-О1-279-78	Вводная часть, п.2.3
ООС 26-О1-1298-81	Вводная часть, п.2.1
ООС 26-II-04-84	П.2.2
РД РТМ 26-О1-133-81	П.9.3