ФЛАНЦЫ ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ ИЗ ТИТАНА

Нормы и методы расчета на прочность и герметичность

РД 26-01-163-87

УкрНИИхиммаш

г.Харьков

1987

gost.e-ecolog.ru

УДК 66.048.54 Группа Г02

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.I. 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

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

Для фланцев по черт.3 расчетные формулы применимы при

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

I.4. Расчет на прочность при малоцикловых 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 малоцикловых нагрузках учитывают следующие циклы нагружения:

I) циклы нагружения N_c , вызванные сборками-разборками (нагрузка $P_{б1}$);

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

I.6. При определении числа циклов, вызванных приращением нагрузки, не учитываются нагрузки, величина которых не превышает I5% от $P_{б1}$.

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

Таблица I

Тип фланцевого соединения	Изолированные			Неизолированные		
	$t_ф$	$t_к$	$t_б$	$t_ф$	$t_к$	$t_б$
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.I. Допускаемое напряжение для стальных болтов (шпилек) определяется по формуле

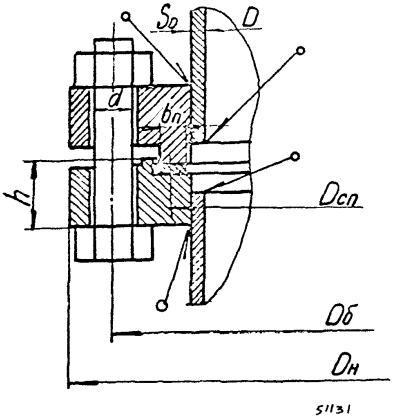
$$[\sigma]_б = \frac{\sigma_{т.б}}{n_т},$$

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

$n_т$ – определяется по табл.2.

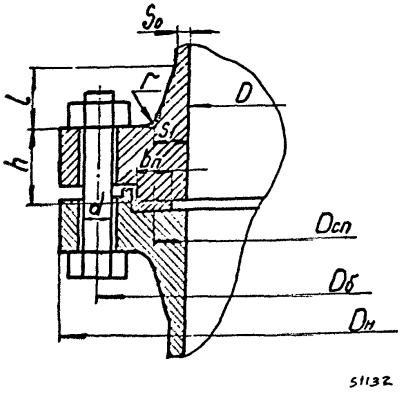
Для условий предварительного затяга при t = 20°С величина $[\sigma]_б^{20}$ может быть увеличена не более, чем на 20%.

Соединение с плоскими фланцами



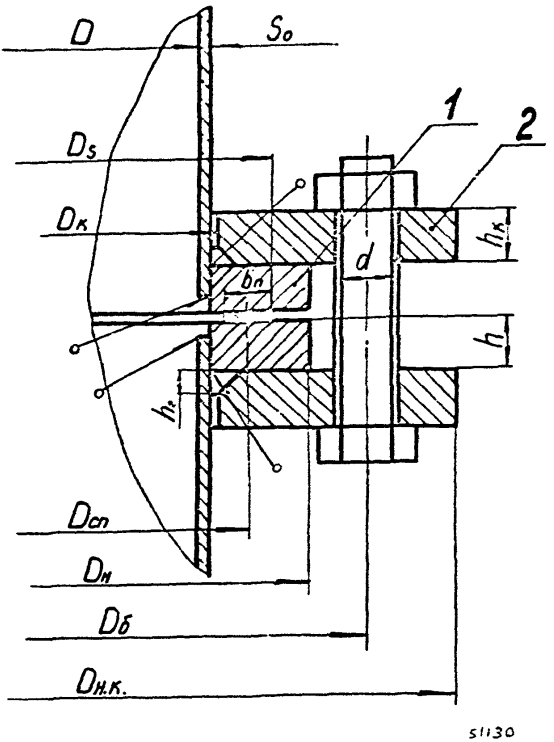
Черт. I

Соединение с фланцами приварными в стык



Черт. 2

Соединение со свободными кольцами



I – фланец; 2 – свободное кольцо

Черт. 3

Таблица 2

Отношение предела текучести к временному сопротивлению		$n_т$	
		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,I
	нержавеющие стали	I,9	I,8

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

$$[\sigma]_{кс} = \sigma_{тк}$$

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

2.3. При расчете статической прочности фланцев допускаемые напряжения в сечении S_1 $([\sigma]_1)$ и сечении S_0 $([\sigma]_0)$ принимаются по табл.3.

Таблица 3

Тип фланцев	Сечения	
	S_1	S_0
Плоские, рис.I	-	$0,8 \cdot \sigma_т$
Приварные в стык, рис.2	I,3 $[\sigma]$	
Со свободным кольцом, рис.3	-	

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

3. РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

3.1. Эффективная ширина прокладки, мм

$b_0 = b_п$ при $b_п \leq 15$

$b_0 = 3{,}8\sqrt{b_п}$ при $b_п > 15$

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

3.3. Податливость прокладки, мм/Н

$$y_п = \frac{h_п \cdot K}{E_п \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_п}$$

3.4. Угловая жесткость прокладки, мм.Н

$$K_п = \frac{D_{сп} \cdot b_п^3 \cdot E_п}{12(1-\nu_п^2) \cdot h_п}$$

3.5. Расчетная длина болта (шпильки), мм

$l_б = l_{бо} + 0{,}28d$ – для болта,

$l_б = l_{бо} + 0{,}56d$ – для шпильки.

3.6. Податливость болтов (шпилек), мм/Н

$$y_б = \frac{l_б}{E_б \cdot f_б \cdot z}$$

где $f_б$ – принимается по табл.5.

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

$$K_б = \frac{K_0 \cdot d^4 \cdot E_б \cdot z}{64 \cdot l_б}$$

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, $\nu_п$	Условный модуль сжатия $E_п \times 10^{-5}$, МПа
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,04	0,45	$0,3 \cdot 10^{-4} \times (1+\frac{b_п}{2h_п})$
Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	0,45	$0,4 \times 10^{-4} \times (1+\frac{b_п}{2h_п})$
* 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 d, мм	М10	М12	М16	М20	М24	М27	М30	М36	М42	М48
Площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы $f_б$, 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

$$S_э = \mathcal{K} S_0$$

где $\mathcal{K}$ - определяется по черт.4

Для фланцев по черт.1, 3

$$S_э = S_0$$

3.8.2. Коэффициенты

Коэффициент A_0 определяется при $Z \leq 8$

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

где $\lambda_1 = \frac{D}{D_б}$

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

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

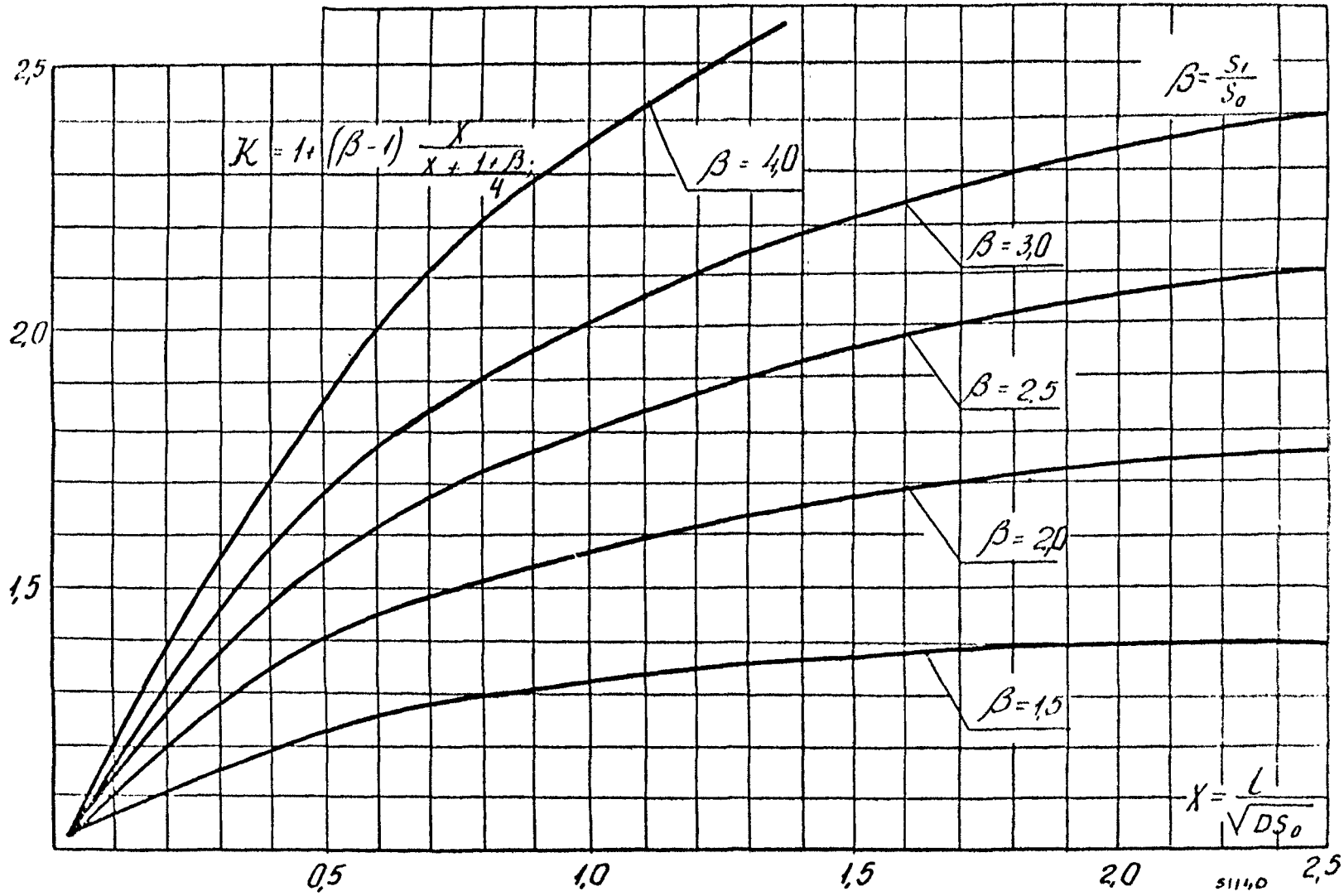
где $K_1 = \frac{1{,}38}{1 - \left(\frac{D}{D_н}\right)^2} \cdot \ln \frac{D}{D_н}$,

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

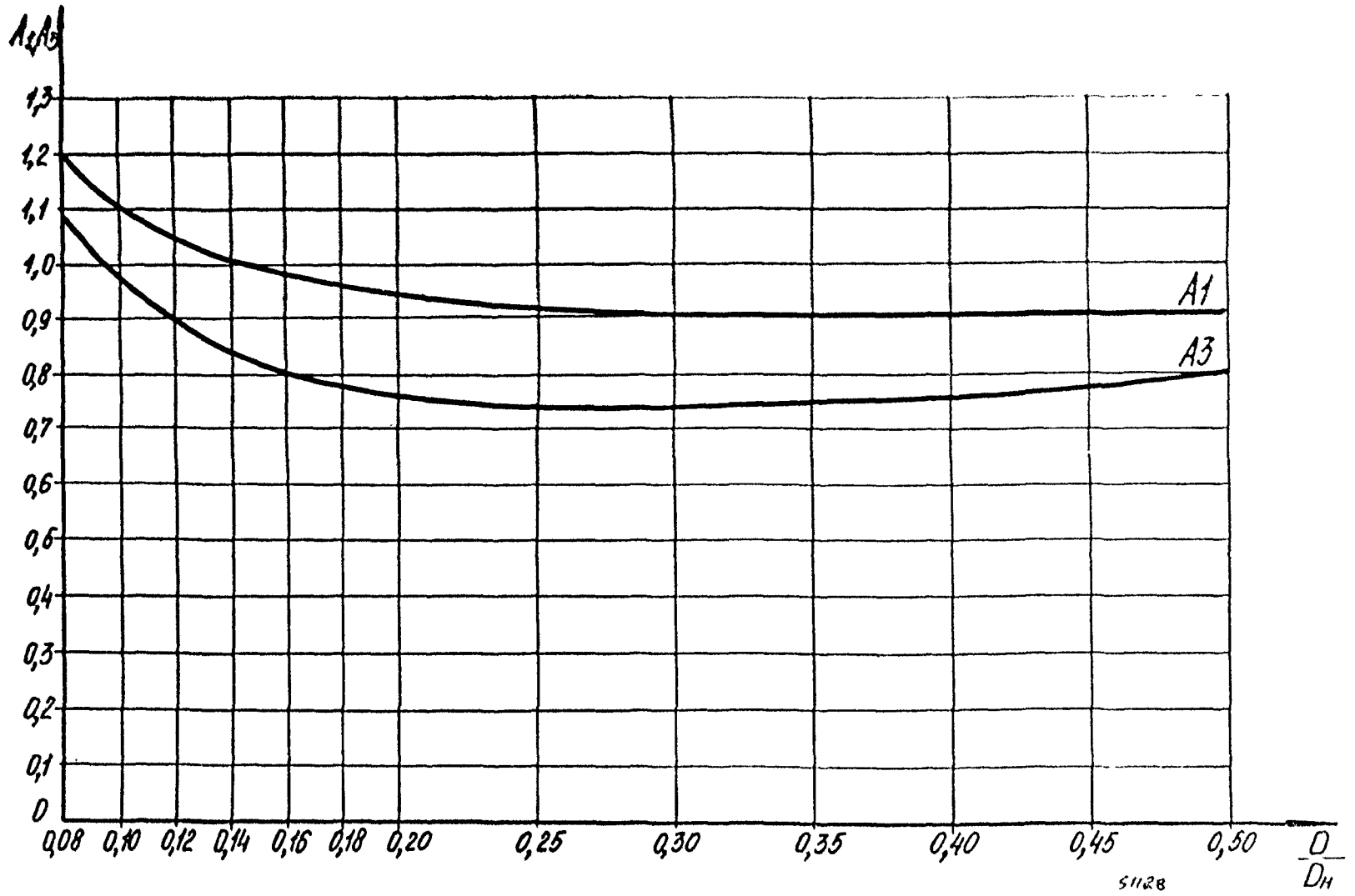
где $A_3 = \frac{0{,}725(1-K_1) - 1{,}613 K_1 \left(\frac{D}{D_н}\right)^2 + \ln \frac{D}{D_н}}{[0{,}725(1-K_1) - 1{,}613 K_1] \frac{D}{D_н}}$,

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

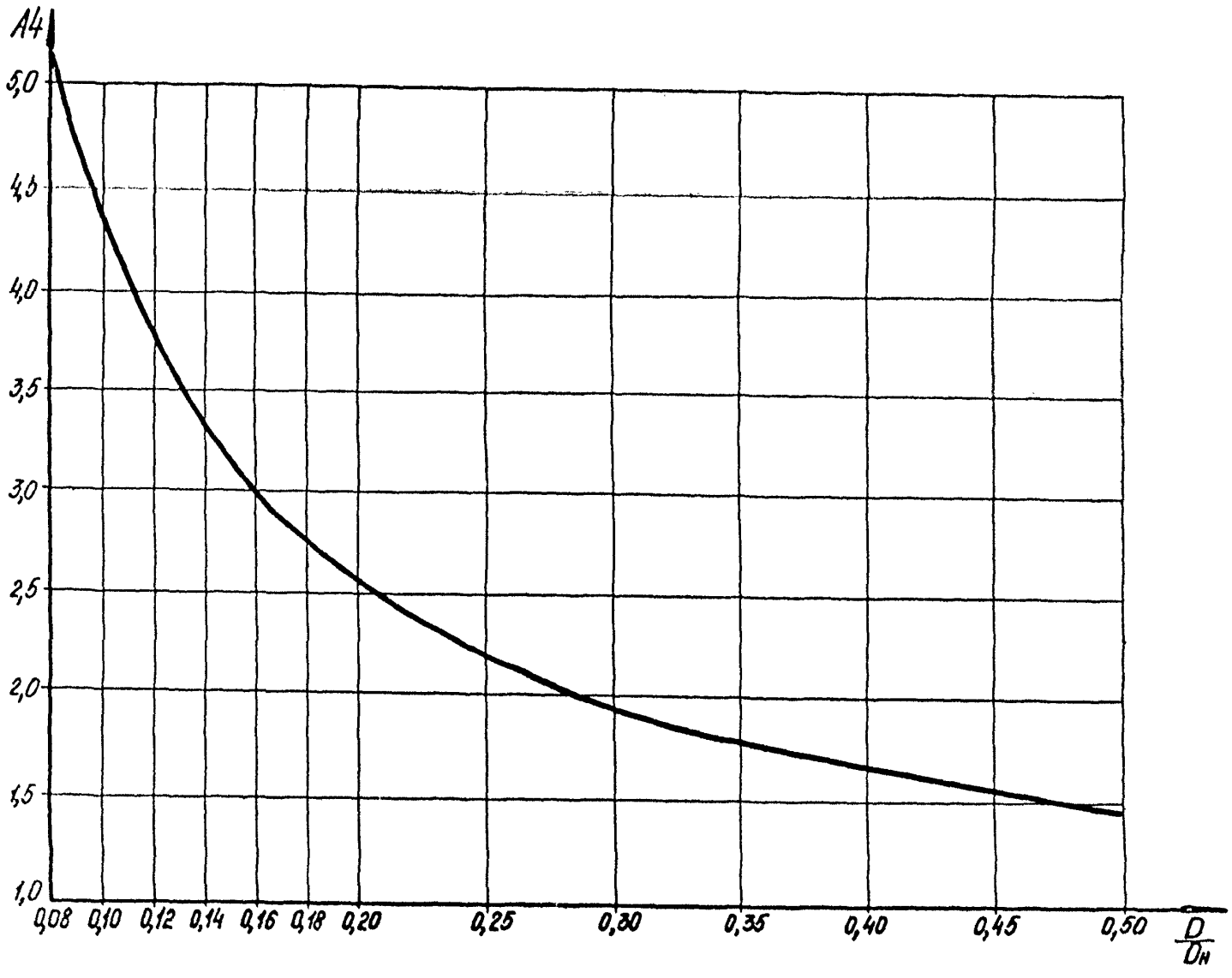
* В случае соединения с разными фланцами расчет следует производить для каждого фланца


2,5
2,0
1,5
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
$K = 1 + (\beta - 1)\frac{X}{X + \frac{1+\beta}{4}}$
$\beta = 4,0$
$\beta = 3,0$
$\beta = 2,5$
$\beta = 2,0$
$\beta = 1,5$
$\beta = \frac{S_1}{S_0}$
$X = \frac{l}{\sqrt{DS_0}}$
5114.0

Черт. 4


A1,A3
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0,08
0,10
0,12
0,14
0,16
0,18
0,20
0,25
0,30
0,35
0,40
0,45
0,50
D/Dн
A1
A3
51128

Черт.5


A4
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,08
0,10
0,12
0,14
0,16
0,18
0,20
0,25
0,30
0,35
0,40
0,45
0,50
D/Dн

Черт. 6

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

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

$$A_I = I, \qquad A_3 = I, \qquad A_4 = I, \qquad \lambda_2 = 1$$

$$\beta = \frac{1{,}79}{\sqrt{D \cdot S_1}}$$

ψ_1 – принимается по черт.7.

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

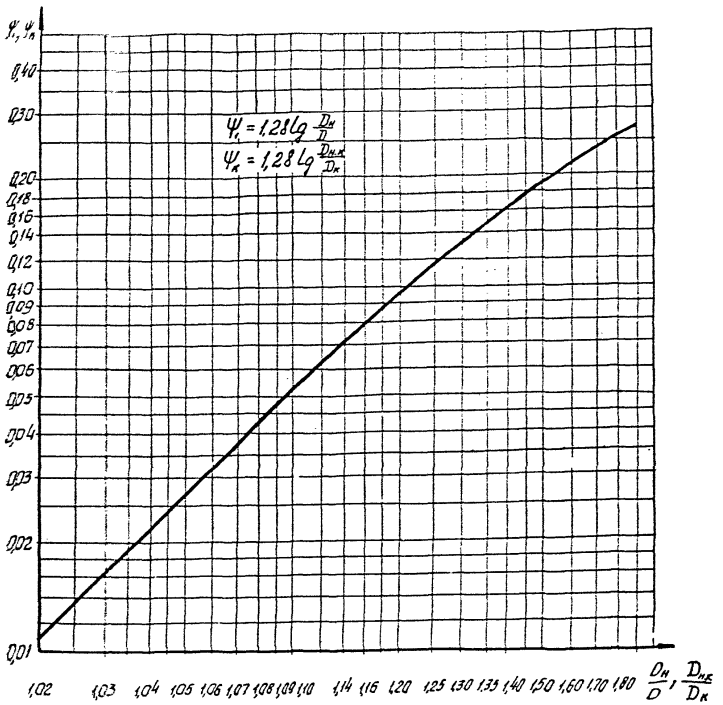
Для фланцев по черт.2

$$\lambda = 0{,}38\,\frac{I + \beta \cdot h}{\beta^2 \cdot D}; \qquad \varrho = \frac{\pi \cdot D(1 + \beta \cdot h)\left(1 - \frac{2S_1}{D_н - D}\right)}{2 \cdot \beta^2};$$

Для фланцев по черт.I,3

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

где K_2 – определяется по табл.6.


ψ_1, ψ_n
0,40
0,30
0,20
0,18
0,16
0,14
0,12
0,10
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
$\psi_1 = 1,28 lg \frac{D_н}{D}$
$\psi_n = 1,28 lg \frac{D_{н.к}}{D_к}$
1,02 1,03 1,04 1,05 1,06 1,07 1,08 1,09 1,10 1,14 1,16 1,20 1,25 1,30 1,33 1,40 1,50 1,60 1,70 1,80
$\frac{D_н}{D}, \frac{D_{н.к}}{D_к}$

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, $\frac{1}{Н \cdot мм}$

по черт.1, 3

$$y_ф = \frac{6}{Eh^3\psi_1 A_1 + 0{,}5844\beta \cdot D \cdot E \cdot S_э^3 \left[C_1 + (C_1 + C_2)\frac{\beta h}{2} + C_2 \frac{\beta^2 h^2}{2}\right]};$$

по черт.2

$$y_ф = \frac{6}{Eh^3\psi_1 A_1 + 0{,}5844\beta \cdot D \cdot E \cdot S_э^3 \left(1 + \beta h + \frac{\beta^2 h^2}{2}\right)}$$

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, $\frac{1}{Н \cdot мм}$

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

для фланцев по черт.1, 2

$$y_{фн} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_б}{E \cdot D_н \cdot h^3}$$

для фланцев по черт.3

$$y_{фн} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_s}{E\, D_н\, h^3},$$

$$y_{фнс} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_б}{E_к \cdot D_{нк} \cdot h_к^3}$$

3.8.5. Угловая жесткость фланцев, Н·мм

$$K_ф = \frac{1}{y_ф}.$$

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

$$y_к = \frac{6}{E_к \cdot h_к^3 \cdot \psi_к},$$

где $\psi_к$ – определяется по черт.5.

Таблица 7

$\frac{h}{S_0}$	C_I при соотношении $\frac{S_0}{D}$												
	0,0050	0,0075	0,I000	0,0I25	0,0I50	0,0I75	0,0200	0,0225	0,0250	0,0500	0,0750	0,I000	0,I200
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

$\frac{h}{S_o}$	C_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	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

$$K_к = \frac{1}{\frac{11}{J_к}}$$

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

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

где $K_2 = \frac{D_н}{D_{сл}}$

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

3.8.9. Угловая жесткость крышки, мм

$$K_{кр} = \frac{1}{y_{кр}}$$

3.8.10. Плечи моментов, мм

Для фланцев по черт.1, 2

$$b = 0{,}5(D_б - D_{сл})$$

$$e = 0{,}5(D_{сл} - D - S_э)$$

Для фланцев по черт.3

$$a = 0{,}5(D_б - D_s),$$

$$b = 0{,}5(D_s - D_{сл}),$$

$$e = 0{,}5(D_{сл} - D - S_э),$$

где $D_s = 0{,}5(D_н + D_к + 2h_2)$

4. КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

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

Для соединения с одинаковыми фланцами

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

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

Для соединения с разными фланцами или крышкой

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

где $\eta_1 = A_2 (y_n + y_б) + (y_{р1} + y_{р2}) \cdot b^2$

Для соединения по черт.3

$$\alpha = 1,$$

$$\eta_1 = y_n + y_б + 2 y_к \cdot a^2 + 2 \cdot y_р b^2$$

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

$$\alpha_M = -(1 + \beta_M), \qquad \alpha_T = -\beta_T,$$

где

$$\beta_M = \frac{2 \cdot y_{\phi н} \cdot b \cdot e \left(1 - \frac{e}{D_{сл}}\right) - y_n \left(\frac{D_б}{D_{сл}}\right)^2}{y_б + y_n \left(\frac{D_б}{D_{сл}}\right)^2 + 2 y_{\phi н} \cdot b^2}$$

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

для фланцев по черт.3

$$\beta_M = \frac{2 y_{\phi н} \cdot b \; e \left(1 - \frac{e}{D_{сл}}\right) - y_n \left(\frac{D_б}{D_{сл}}\right)^2}{y_б + y_{\phi нс} \cdot a^2 + y_n \left(\frac{D_б}{D_{сл}}\right)^2 + 2 y_{\phi н} \cdot b^2}$$

5. РАСЧЕТ НАГРУЗОК

5.1. Равнодействующая внутреннего давления, Н

$$Q_q = 0{,}785 \cdot D_{сл}^2 \cdot p,$$

5.2. Реакция прокладки в рабочих условиях, Н

$$R_п = \pi \cdot D_{сл} \cdot b_o \cdot m \cdot p$$

5.3. Усилие, возникающее от температурных деформаций.

Для соединения по черт.I,2

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i}\left(\alpha_ф \cdot t_ф - \alpha_б \cdot t_б\right) L_{бо},$$

где η – определяется по п.4.I.

Для соединения по черт.3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i}\left(2\alpha_ф \cdot t_ф \cdot h + 2\alpha_к \cdot t_к \cdot h_к - \alpha_б \cdot t_б \cdot L_{бо}\right),$$

где η_i – определяется по п.4.I.

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

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i}\left[\left(\alpha_{ф1} \cdot h_1 + \alpha_{ф2} \cdot h_2\right) t_ф - \alpha_б t_б L_{бо}\right]$$

Для соединения с фланцами из разных материалов по черт.3

$$Q_t = \frac{1}{\eta_i}\left[\left(\alpha_{ф1} \cdot h_1 + \alpha_{ф2} \cdot h_2\right) t_ф + 2\alpha_к t_к h_к - \alpha_б t_б L_{бо}\right]$$

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

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

где

$$\Delta q = \frac{163 \cdot A_o \cdot b_o \cdot D_o^2 \cdot E_п}{h_п \left(D_б - D_{сл}\right) \cdot E \cdot h^3} \cdot \frac{P_{обж}}{Z},$$

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

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

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

где $\xi_б = \frac{4}{D_б}$

при $\beta_M > 0$ $\varphi = 0$

при $\beta_M < 0$ $\varphi = \pi$

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

$$P_{б1} = \alpha_1 (Q_g + F) + R_п - Q_т + \xi_п \alpha_M M \cos\varphi + 2\alpha_T T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{б1} = \alpha_1 (Q_g + F) + R_п + \xi_п \alpha_M M \cos\varphi + 2\alpha_T T \cos 2\varphi + \Delta Q,$$

$$P_{б1} = P_{обж},$$

$$P_{б1} = 3{,}14 [\sigma]_б^{20} \cdot z \cdot f_б \qquad \text{при } P \leq 0{,}6 \text{ МПа}$$

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

5.7. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях, Н

$$\Delta P_б = (1 - \alpha)(Q_g + F) + Q_т + \Delta Q_M$$

6. РАСЧЕТ БОЛТОВ (ШПИЛЕК)

Условия прочности болтов

$$\sigma_{б1} = \frac{P_{б1}}{z \cdot f_б} \leq [\sigma]_б^{20},$$

$$\sigma_{б2} = \frac{P_{б1} + \Delta P_б}{z \cdot f_б} \leq [\sigma]_б^{t}$$

7. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_n = \frac{P_{б1}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_n} \leq [q]$$

8. РАСЧЕТ ФЛАНЦА *

8.1. Угол поворота фланца при затяжке

$$\theta = \frac{P_{б1} \cdot b}{2 \cdot \pi (K_ф + K_б + K_п)}$$

8.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta\theta = \frac{\Delta P_б \cdot b + Q_q (e - \lambda) + Q \cdot p + \left(\frac{4 \cdot M}{D_{сп}} + F\right) \cdot e}{2 \cdot \pi \left(K_ф \frac{E^*}{E} + K_б \frac{E^*}{E_б} + K_п\right)}$$

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

Для фланцев по черт.1,3

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

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

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

---

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

Таблица 9

$\frac{h}{S_o}$	C_o 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	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 $\sigma_1 = \frac{6 \cdot M_o}{(S_1 - C)^2}$,

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

в сечении S_o

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

где f – определяется по черт.8.

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

Для фланцев по черт.I,3

$$\Delta\sigma_{21} = \frac{Q_q + \frac{4 \cdot M}{D_{cn}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} + \Delta\sigma_2 , \qquad \Delta\sigma_{22} = \frac{Q_q + \frac{4 \cdot M}{D_{cn}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} - \Delta\sigma_2 ,$$

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

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

C_3 – принимается по табл.IO.

Для фланцев по черт.2

в сечении S_1

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

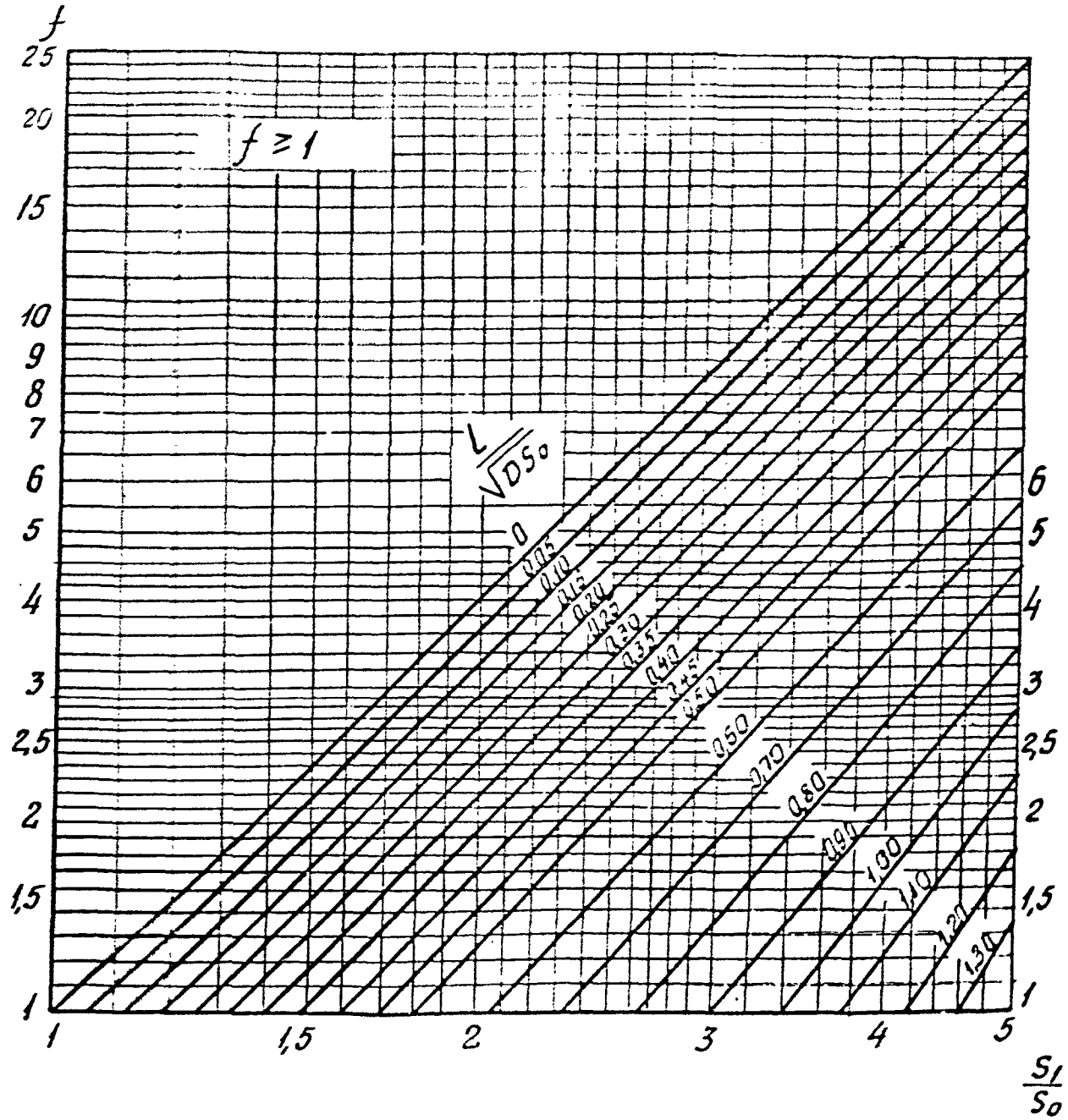
где

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

$$\Delta M_o = 0{,}1 \cdot \beta \cdot E^+ \cdot S_3^3 (2 + \beta h) \Delta\theta + \frac{0{,}38 \left(Q_q + \frac{4M}{D_{cn}} + F \right) - 0{,}5 \cdot \pi \cdot \rho \cdot D^2 \left(1 - \frac{2 S_3}{D_n - D} \right)}{\pi \cdot \beta^2 \cdot D^2}$$

в сечении S_o

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


f
25
20
15
10
9
8
7
6
5
4
3
2,5
2
1,5
1
f ≥ 1
L/√DS₀
0
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
0,35
0,40
0,45
0,50
0,70
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
1,30
1
1,5
2
3
4
5
S₁/S₀

Черт. 8

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

Для фланцев по черт.I,3

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

Для фланцев по черт.2

в сечении S_1

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

в сечении S_0

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

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

Для фланцев по черт.I,3

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

Для фланцев по черт.2

в сечении S_1

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{E^{t} \cdot h \cdot \Delta\theta}{D} + \frac{p \cdot D}{D_H - D} + 0{,}38\Delta\sigma_1\ , \qquad \Delta\sigma_{14} = \frac{E^{t} \cdot h \cdot \Delta\theta}{D} + \frac{p \cdot D}{D_H - D} - 0{,}38\Delta\sigma_1\ ,$$

в сечении S_0

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

8.7. Условие прочности фланца при расчете статической прочности

Для фланца по черт.I,3

$$\sigma_{S_0} = max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{21}+\Delta\sigma_{21})^2+(\sigma_{23}+\Delta\sigma_{23})^2-(\sigma_{21}+\Delta\sigma_{21})(\sigma_{23}+\Delta\sigma_{23})} \\ \sqrt{(\sigma_{22}+\Delta\sigma_{22})^2+(\sigma_{24}+\Delta\sigma_{24})^2-(\sigma_{22}+\Delta\sigma_{22})(\sigma_{24}+\Delta\sigma_{24})} \end{array} \right\} \le [\sigma]_o$$

Для фланца по черт.2

в сечении S_1

$$\sigma_{S_1} = max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{11}+\Delta\sigma_{11})^2+(\sigma_{13}+\Delta\sigma_{13})^2-(\sigma_{11}+\Delta\sigma_{11})(\sigma_{13}+\Delta\sigma_{13})} \\ \sqrt{(\sigma_{12}+\Delta\sigma_{12})^2+(\sigma_{14}+\Delta\sigma_{14})^2-(\sigma_{12}+\Delta\sigma_{12})(\sigma_{14}+\Delta\sigma_{14})} \end{array} \right\} \le [\sigma],$$

в сечении S_0

$$\sigma_{S_0} = max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{21}+\Delta\sigma_{21})^2+(\sigma_{23}+\Delta\sigma_{23})^2-(\sigma_{21}+\Delta\sigma_{21})(\sigma_{23}+\Delta\sigma_{23})} \\ \sqrt{(\sigma_{22}+\Delta\sigma_{22})^2+(\sigma_{24}+\Delta\sigma_{24})^2-(\sigma_{22}+\Delta\sigma_{22})(\sigma_{24}+\Delta\sigma_{24})} \end{array} \right\} \le [\sigma]_o$$

9. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

9.I. 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

$$\sigma_1 = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{11};$$
$$\sigma_2 = max\{|\sigma_{21}|; |\sigma_{23}|; |\sigma_{21}-\sigma_{23}|\}$$
$$\sigma_3 = max\{|\sigma_{22}|; |\sigma_{24}|; |\sigma_{22}-\sigma_{24}|\}.$$

σ_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.I,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

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

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

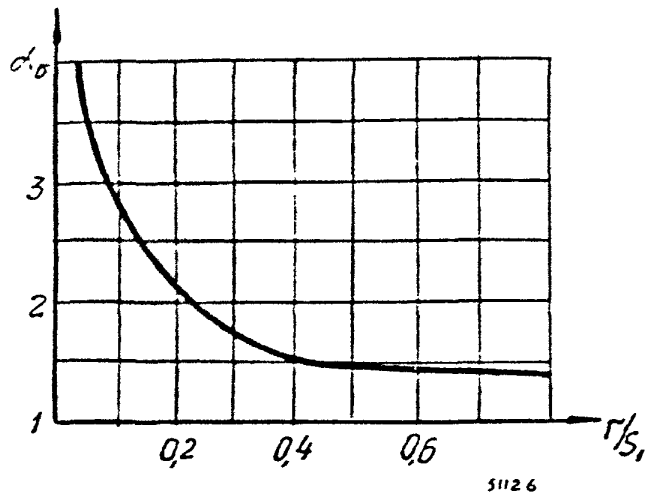
$$\Delta\sigma_3 = max\{|\Delta\sigma_{22}|;\ |\Delta\sigma_{24}|;\ |\Delta\sigma_{22} - \Delta\sigma_{24}|\}\cdot$$

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 26-01-133-81.

Допускаемое число циклов нагружения, вызванных пусками и остановами или изменениями режима эксплуатации $[N]_p$ определяется по расчетному значению амплитуды условных упругих напряжений σ_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

$\frac{S_o}{D}$	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

$$\theta_к = \frac{P_{б1} \cdot a}{2\pi (K_к + K_б)} + \frac{\Delta P_б \cdot a}{2\pi \left(K_к \frac{E_к^+}{E_к} + K_б \frac{E_б^+}{E_б}\right)}$$

10.2. Кольцевое напряжение в свободном кольце, МПа

$$\sigma_{кс} = \frac{E_к^+ \cdot h_к \cdot \theta_к}{D_к}$$

10.3. Условие прочности

$$\sigma_{кс} \leq [\sigma]_{кс}$$

11. УСЛОВИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

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

где $[\theta] = 0{,}013$

$$q_п = \frac{P_{б1} + \Delta P_б - (Q_2 + F) - \mathcal{J}_н \xi_п M \cos\varphi + 2\alpha_т \cdot T \cdot \cos 2\varphi - Q_t}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_о} \geq m_1$$

где $\varphi = \pi$

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Справочное

ТЕРМИНЫ И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Таблица

Термин	Обозначение
Ширина прокладки, мм	$b_п$
Прибавка для компенсации коррозии, мм	C
Внутренний диаметр фланца, мм	D
Внутренний диаметр свободного кольца, мм	$D_к$
Наружный диаметр фланца, мм	$D_н$
Наружный диаметр свободного кольца, мм	$D_{нк}$
Диаметр окружности расположения болтов, мм	$D_б$
Средний диаметр прокладки, мм	$D_{сп}$
Диаметр болта (шпильки), мм	d
Модуль продольной упругости материала при температуре 20°С и расчетной, МПа	
фланца	E, E^t
болтов	$E_б, E_б^t$
свободного кольца	$E_к, E_к^t$
Условный модуль сжатия материала прокладки, МПа	$E_п$
Внешняя осевая сила (сжимающая со знаком минус), Н	F
Площадь поперечного сечения болта(шпильки) по внутреннему диаметру резьбы, мм^2	$f_б$
Толщина фланца по внутреннему и наружному диаметрам, мм	h, h_1

Термин	Обозначение
Толщина свободного кольца, мм	$h_к$
Толщина крышки в зоне уплотнения и на наружном конце, мм	$\delta_{кр}$, δ
Толщина прокладки, мм	$h_п$
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_0
Толщина обечайки (трубы), мм	S_0
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм	$L_{бо}$
Число болтов (шпилек), шт	Z
Расчетная температура, °С	
фланца	$t_ф$
болтов	$t_б$
свободного кольца	$t_к$
Температурный коэффициент линейного расширения материала, 1/°С	
фланца	$\alpha_ф$
болтов (шпилек)	$\alpha_б$
свободного кольца	$\alpha_к$
Коэффициент Пуассона материала прокладки	$\nu_п$
Допускаемое напряжение материала болтов (шпилек) при температуре 20 °С и расчетной, МПа	$[\sigma]_б^{20}$, $[\sigma]_б^t$
Расчетная и допускаемая амплитуда условных упругих напряжений, МПа	$\sigma_а$, $[\sigma_а]$
Расчетное и допускаемое число циклов нагружения	N, $[N]$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочное

Пример расчета фланцевого соединения
(черт.I)

Исходные данные

D = 80 мм
D_n = I95 мм
$D_б$ = I60 мм
$D_{сп}$ = I2I мм
b_n = I2 мм

h = 20 мм
h_n = 2 мм
S_o = 8 мм
d = I6 мм
Z = 4 шт.
h_1 = I7 мм

t = 20°С
p = I,0 МПа
E = I,I5·I0^5 МПа
$E_б$ = 2·I0^5 МПа
E_n = 2·I0^3 МПа

Материал прокладки - паронит ПОН
Материал болтов - сталь 30ХI3

I. Расчет вспомогательных величин

I.I. Эффективная ширина прокладки

$$b_o = b_n = I2 \text{ мм}$$

I.2. Податливость прокладки

$$y_n = \frac{h_n \cdot K}{E_n \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_n} = \frac{2.0{,}9}{2.I0^3 \cdot 3{,}I4I6 \cdot I2I \cdot I2} = 0{,}I973.I0^{-6} \text{ мм/Н}$$

где $E_n = 2.I0^3$ МПа
$K = 0{,}9$ по табл.4

I.3. Угловая жесткость прокладки

$$K_n = \frac{D_{сп} \cdot b_n^3 \cdot E_n}{I2(I-\nu_n^2) \cdot h_n} = \frac{I2I.I2^3 \cdot 2 \cdot I0^3}{I2.(I - 0{,}4^2).2} = 20{,}7429.I0^6 \text{ Н·мм}$$

где $\nu_n = 0{,}4$ по табл.4

I.4. Расчетная длина болта

$$l_б = l_{бо} + 0{,}28d = 42 + 0{,}28.I6 = 46{,}48 \text{ мм}$$

I.5. Податливость болтов

$$y_б = \frac{l_б}{E_б \cdot f_б \cdot Z} = \frac{46{,}48}{2.I0^5.I44.4} = 0{,}4035.I0^{-6} \text{ мм/Н}$$

где $f_б = I44$ мм^2 по табл.5

I.6. Изгибная жесткость болтов

$$K_б = \frac{K_0 \cdot d^4 \cdot E_б \cdot Z}{64 \cdot l_б} = \frac{0,1 \cdot 16^4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 4}{64 \cdot 46,48} = 1,7625 \cdot 10^6 \text{ мм.Н}$$

I.7. Параметры фланца

I.7.1. Эквивалентная толщина втулки

$$S_э = S_0 = 8 \text{ мм}$$

I.7.2. Коэффициенты

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

$$A_0 = 0,06287$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\lambda = 0,13 \cdot D \cdot K_2 = 0,19.80.0,2454 = 3,7 \text{ мм}$$

$$Q = \pi \cdot D \cdot K_2 \left(\frac{D^2}{4} - f \cdot h \cdot S_0\right) = 3,1416.80.0,2454\left[\left(\frac{80}{4}\right)^2 - 1,4644.20.8\right] =$$
$$= 84230,5 \text{ мм}^3$$

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

$$y_\phi = \frac{6}{E \cdot h^3 \Psi_1 \cdot A_1 + 0,5844 \cdot \beta \cdot D \cdot E \cdot S_0^3 \left[C_1 + (C_1 + C_2)\frac{\beta h}{2} + C_2 \frac{\beta^2 h^2}{2}\right]} =$$

$$= \frac{6}{1,15.10^5.20^3.0,495.0,9021 + 0,5844.0,0708.80.1,15.10^5.8^3\left[2,4169 + (2,4169 + 1,7298)\frac{0,0708.20}{2} + 1,7298\frac{0,0708^2 20^2}{2}\right]} =$$

$$= 0,003348.10^{-6} \text{ 1/Н.мм}$$

1.7.4. Угловая жесткость фланца

$$K_\phi = \frac{1}{y_\phi} = \frac{1}{0,003348.10^{-6}} = 298,6711.10^6 \text{ Н.мм}$$

1.7.5. Плечи моментов

$$b = 0,5\left(D_б - D_{сп}\right) = 0,5(160 - 121) = 19,5 \text{ мм}$$

$$e = 0,5\left(D_{сп} - D - S_э\right) = 0,5(121 - 80 - 8) = 16,5 \text{ мм}$$

2. Коэффициент жесткости фланцевого соединения

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

где $\eta_1 = A_2\left(y_п + y_б\right) + 2 y_\phi \cdot b^2 = 0,8925(0,1973.10^{-6} + 0,4035.10^{-6}) +$

$+ 2.0,003348.10^{-6}.19,5^2 = 3,0824.10^{-6}$

$$\delta = 1 - \frac{0,8925.0,1973.10^{-6} - 2.0,003348.10^{-6}.19,5.16,5}{3,0824.10^{-6}} = 1,64$$

3. РАСЧЕТ НАГРУЗОК

3.1. Равнодействующая внутреннего давления

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

3.2. Реакция прокладки в рабочих условиях

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

3.3. Нагрузка, необходимая для равномерного обжатия прокладки

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

где $$\Delta q = \frac{1{,}63 \cdot A_c \cdot b_o \cdot D_б^2 \cdot E_п}{h_п (D_б - D_{сл}) \cdot E \cdot h^3} \cdot \frac{P_{обж}}{z}$$

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

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

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

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

$$P_{б1} = \alpha Q_g + R_п + \Delta Q = 1{,}64 \cdot 11493{,}2 + 11404 + 45616 = 75868{,}8$$

$$P_{б1} = P_{обж} = 45616{,}0 \text{ Н}$$

$$P_{б1} = 0{,}4 [\sigma]_б^{20} z \cdot f_б = 0{,}4 \cdot 250 \cdot 4 \cdot 144 = 57600{,}0 \text{ Н}$$

3.5. Приращение нагрузки в болтах в рабочих условиях

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

4. РАСЧЕТ БОЛТОВ

Условия прочности болтов

$$\sigma_{б1} = \frac{P_{б1}}{z \cdot f_б} \le [\sigma]_б^{20}$$

$$\sigma_{б2} = \frac{P_{б1} + \Delta P_б}{z \cdot f_б} \le [\sigma]_б^{+}$$

где для болтов из стали 30Х13

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

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

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

$$\sigma_{б1} = \frac{75868,8}{4 \cdot 144} = 131,7 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{б2} = \frac{75868,8 - 7355,6}{4 \cdot 144} = 119,0 \text{ МПа} < 250 \text{ МПа}$$

5. УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДКИ

$$q_п = \frac{P_{б1}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_п} \leq [q]$$

где $[q] = 130$ МПа по табл.4

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

6. РАСЧЕТ ФЛАНЦА

6.1. Угол поворота фланца при затяжке

$$\theta = \frac{P_{б1} \cdot b}{2 \cdot E(K_ф + K_б + K_п)} =$$

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

6.2. Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta\theta = \frac{\Delta P_б \cdot b + Q_3(e - \lambda) + Q \cdot \rho}{2 \cdot E(K_ф + K_б + K_п)} =$$

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

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

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

$$\sigma_2 = \frac{6\,M_1}{(S_c - C)^2} ,$$

$$M_1 = 0{,}1\,C_0 \cdot \beta \cdot E \cdot S_0^3 (2+\beta h)\theta = 0{,}1 \cdot 1{,}1941 \cdot 0{,}0708 \cdot 1{,}15 \cdot 10^5 \cdot$$

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

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

σ_{21} = 118,0 МПа, σ_{22} = -118,0 МПа

где C_0 = 1,1941 по табл.9

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

$$\Delta\sigma_{21} = \frac{Q_q}{\pi \cdot D \cdot (S_c - C)} + \Delta\sigma_2 , \qquad = \frac{Q_q}{\pi \cdot D\,(S_c - C)} - \Delta\sigma_2 ,$$

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

$$\Delta M_1 = 0{,}1\,C_0 \cdot \beta \cdot E \cdot S_0^3 (2+\beta h)\Delta\theta + C_3 \left(\frac{0{,}38\,Q_q}{2 \cdot \pi} - \frac{p \cdot D^2}{4} + \int \rho\, h\, S_c \right) =$$

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

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

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

где C_3 = 0,0514 по табл.10

$$\Delta\sigma_{21} = \frac{114932}{3{,}1416 \cdot 80 \cdot (8-0)} + 3{,}8 = 9{,}5 \text{ МПа}$$

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

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

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

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

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

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

$\sigma_T = 310{,}0$ 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 26-01-279-78	Вводная часть, п.2.3
ОСТ 26-01-1298-81	Вводная часть, п.2.1
ОСТ 26-II-04-84	П.2.2
РД РТМ 26-01-133-81	П.9.3

gost.e-ecolog.ru