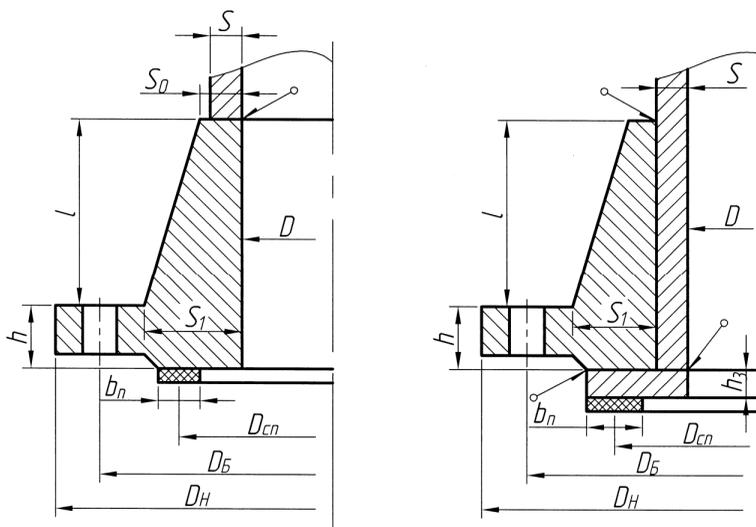


ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: КОНСТРУКЦИИ, РАЗМЕРЫ, РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2011

Учебное издание

ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: КОНСТРУКЦИИ, РАЗМЕРЫ, РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ

Составители:

КОПТЕВА Вера Борисовна,

КОПТЕВ Андрей Алексеевич

Методические указания

Редактор Л.В. Комбарова

Инженер по компьютерному макетированию М.С. Анурьева

Подписано в печать 05.10.2011.

Формат 60×84 / 16. 1,39 усл. печ. л. Тираж 50 экз. Заказ № 422

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: КОНСТРУКЦИИ, РАЗМЕРЫ, РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ

Методические указания к курсовой работе
по дисциплине «Технологическое оборудование:
конструирование и расчёт» для студентов
направлений 151000.62, 222900.62, 222000.62



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2011

УДК 621:66(07)
ББК Л11-5-04я73-5
Ф701

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технология продовольственных продуктов» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
Е.В. Хабарова

С о с т а в и т е л и:

В.Б. Коптева, А.А. Коптев

Ф701 Фланцевые соединения: конструкции, размеры, расчёт на прочность : методические указания / сост. : В.Б. Коптева, А.А. Коптев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 24 с. – 50 экз.

Даны конструкции фланцев и уплотнительных поверхностей, рекомендации по выбору прокладок, определение размеров фланцев и расчёт на статическую прочность.

Предназначены для студентов направлений 151000.62, 222900.62, 222000.62.

УДК 621:66(07)
ББК Л11-5-04я73-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2011

1. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ФЛАНЦА

Фланцевые соединения – наиболее широко применяемый вид разъёмных соединений в промышленности, обеспечивающий герметичность и прочность конструкции, а также процесс изготовления, разборки и сборки. Даже если технологический процесс аппарата позволяет делать его неразъёмным, то фланцевые соединения будут присутствовать на штуцерах и трубопроводах.

Прежде чем приступать к расчёту фланцевого соединения, необходимо выбрать его конструкцию, которая зависит от конструкционного материала, давления и температуры.

По конструкции фланцы можно разделить на цельные, когда корпус аппарата и фланец работают под нагрузкой совместно (рис. 1, 2) и свободные, когда корпус аппарата разгружен от действия изгибающих моментов, возникающих при затяжке фланцевого соединения (рис. 3).

Приварные встык фланцы (рис. 1) имеют конические втулки-шейки. Втулка фланца приваривается стыковым швом к обечайке и значительно увеличивает прочность фланца. Если аппарат изготовлен из дорогостоящей легированной стали, то такой фланец в целях экономии конструкционного материала делают с защитным кольцом (рис. 1, б). Этот тип фланцев применяется при $P_y = (1,6 - 6,4)$ МПа и температуре до 300 °С (табл. 1).

1. Типы и пределы применения фланцев

Внутренний диаметр, мм	Внутреннее давление, МПа							
	Приварные встык				Плоские приварные			
	1,6	2,5	4,0	6,4	0,3	0,6	1,0	1,6
400...1600	X	X	X	X	X	X	X	X
2000...3200	X	X			X	X	X	
1600...2000	X				X	X		
3200...4000					X			

Продолжение табл. 1

Внутренний диаметр, мм	Внутреннее давление, МПа					
	Свободные					
	на отбортовке		на кольце			
	0,3	0,6	0,3	0,6	1,0	1,6
400...1600	X	X	X	X	X	X
2000...3200	X	X	X	X	X	X
1600...2000	X		X	X	X	
3200...4000	X		X	X		

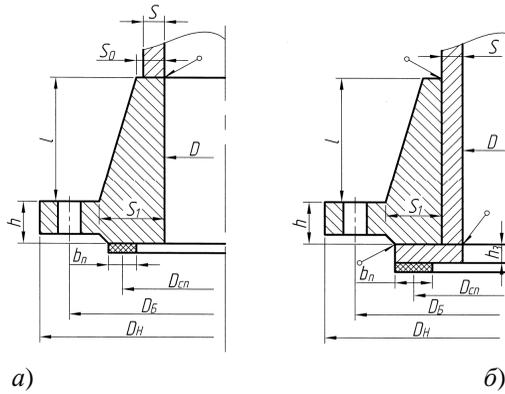


Рис. 1. Фланец с шейкой, приварной встык

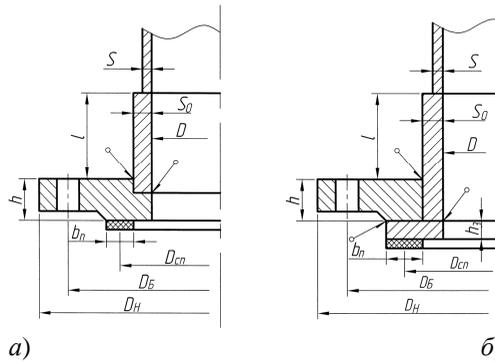


Рис. 2. Плоский приварной фланец

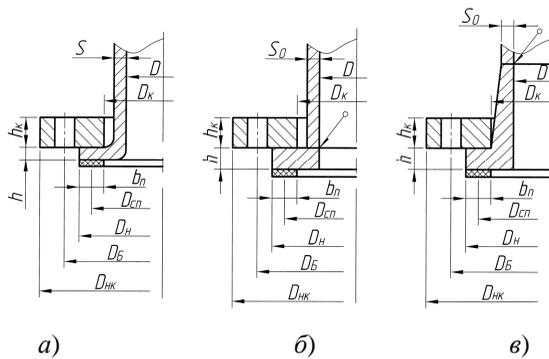


Рис. 3. Свободные фланцы:

a – на отбортовке; *б* – на приварном кольце; *в* – на приварном бурте

Плоские приварные фланцы (рис. 2) представляют собой плоские кольца, приваренные к краю обечайки по её периметру. Они также могут делаться с защитным кольцом (рис. 2, б) в целях экономии конструкционного материала. Этот тип фланца применяется при $P_y = (0,3 - 1,6)$ МПа и температуре до 300 °С (табл. 1).

Свободные фланцы (рис. 3) представляют собой кольца, имеющие внутренний диаметр несколько больше наружного диаметра обечайки, на которую их свободно одевают. Фланец на отбортовке (рис. 3, а) применяют в аппаратах из цветных металлов, на приварном кольце и бурте – в аппаратах из высоколегированных сталей. Все свободные фланцы экономят дорогостоящие конструкционные материалы и изготавливаются из углеродистой стали обыкновенного качества – стали ВСтЗ. При затяжке фланец опирается в отбортовку обечайки (рис. 3, а), в кольцо, привариваемое к краю обечайки (рис. 3, б) или на бурт, привариваемый встык к обечайке (рис. 3, в). Свободные фланцы на отбортовке применяются при давлении до 0,6 МПа, на кольце – до 1,6 МПа, на бурте – до 6,4 МПа (табл. 1).

Конструктивные формы уплотнительных поверхностей фланцев регламентированы ОСТ 26-426-79 и ОСТ 26-427-79 и представлены на рис. 4.

Плоская уплотнительная поверхность (рис. 4, а) применяется при давлении до 1 МПа, фланцы с выступом-впадиной (рис. 4, б) при давлении до 1,6 МПа. Фланцы с шип-пазом (рис. 4, в) применяют при обработке ядовитых, коррозионных и взрывоопасных сред при давлении до 6,4 МПа, под металлическую прокладку (рис. 4, з) при давлении 6,4...16 МПа.

2. ПРОКЛАДКИ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Функционирование машин, аппаратов, трубопроводов связано с надёжной герметизацией плоскостей, находящихся под действием различных сред и давлений. В качестве уплотняющих элементов используют прокладки различного рода.

По конструктивному признаку и материалу различают прокладки следующих типов: неметаллические, асбометаллические и комбинированные (металлический корпус в виде сетки и мягкая набивка), в уплотнении выступ-впадина, шип-паз, металлические восьмиугольного и овального сечения.

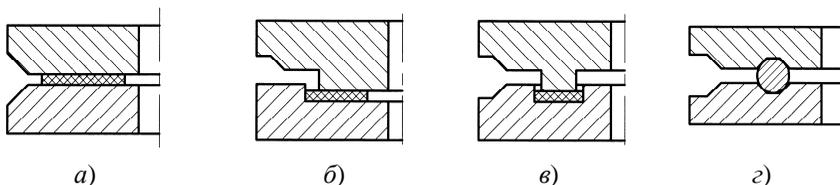


Рис. 4. Конструкции уплотнительных поверхностей:

а – плоская; б – выступ-впадина; в – шип-паз; з – подшлифованное кольцо

Выбор материала прокладок. Материал прокладок выбирают в зависимости от параметров (давление, температура) и химических свойств среды воздействующих на прокладку (табл. 2).

2. Прокладочные материалы

Материал и конструкция прокладки	Предельная температура		Рабочее давление, МПа, при уплотнительной поверхности			Среда
	от	до	гладкой	выступ-впадина	шип-паз	
Резина техническая кислотощелочная КЩ (7338-77)	-30	+50	1,0	–	–	Вода, воздух, нейтральные растворы солей, нейтральные газы и пары, H ₂ SO ₄ концентрация до 56%
Резина техническая маслостойкая МБ (7338-77)	-30	+50	1,0	–	–	Тяжёлые нефтепродукты, керосин, масла, бутанол
Резина техническая теплостойкая Т (7338-77)	–	+140	–			Водяной пар, сухие нейтральные и инертные газы
Паронит общего назначения ПОН (481-80)	-35	+90 +250 +450	1,0 2,5 2,5	6,4 6,4	Вакуум 50 – 99%	Воздух, вода, водяной пар, сухие нейтральные и инертные газы
Паронит маслостойкий ПМБ (481–80)	-40	+200 +300 +60 +150 +490	2,5 2,0 1,6 2,5 2,5	5,0 6,4	Вакуум 50...99%	Лёгкие нефтепродукты Тяжёлые нефтепродукты Сжиженные углеводороды Кислород и азот Коксовый газ
Картон асбестовый (2850–75)	-15	+450	0,15			Углеводороды жидкие и газообразные (мазут, масла, смолы)
Фторопласт-4 (10007–80Е)	-269	+250			2,5	Кислоты и щёлочи любой концентрации, растворители

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ФЛАНЦА

После того как выбрана конструкция фланцевого соединения и подобран материал прокладки, чертится его эскиз и определяются размеры. Фланцы штуцеров выбираются стандартными по ГОСТ 1255–67, ГОСТ 12828–67...ГОСТ 12834–67.

Фланцы аппаратов или берут со стандартными размерами по ГОСТ 28759.1–90...ГОСТ 28759.8–90 или с нестандартными размерами.

Толщина S_0 втулки фланца в зависимости от конструкции принимается:

- для приварного встык $S_0 = (1...1,3)S$, но во всех случаях $S_0 - S \leq 5$ мм;
- для плоского приварного и свободного $S_0 \geq S$, где S – исполнительная толщина обечайки или крышки.

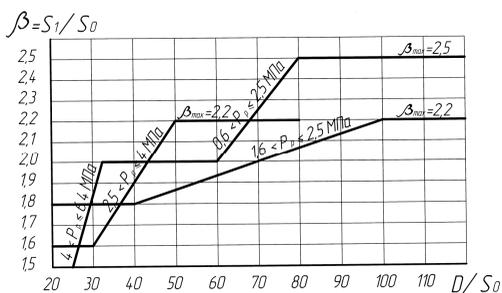


Рис. 5. График для определения коэффициента β

У фланца, приварного встык, толщина втулки у основания берётся равной $S_1 = \beta S_0$, где β – коэффициент, принимаемый по графику на рис. 5.

Высота втулки l фланца:

- приварного встык $l = 3(S_1 - S_0)$;
- плоского приварного и свободного $l \geq 0,5\sqrt{D(S_0 - C)}$.

Диаметр болтовой окружности D_6 для фланцев:

- приварных встык $D_6 \geq D + 2(S_1 + d_6 + I)$;
- плоских приварных $D_6 \geq D + 2(S_0 + d_6 + I)$;
- свободных $D_6 \geq D_k + 2(d_6 + I_1)$,

где I , I_1 – нормативный зазор между гайкой и втулкой: $I = 6$ мм; $I_1 = 8$ мм; D_k – внутренний диаметр свободного кольца фланца, $D_k = D + 2S_0 + (6 \dots 10)$ мм.

Диаметр болтов d_6 выбирается по табл. 3 в зависимости от давления P и внутреннего диаметра аппарата D .

Наружный диаметр фланца:

- для приварных встык и плоских $D_n = D_6 + a'$;
- для свободных $D_{нк} = D_6 + a'$, где a' – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, принимается по табл. 4.

3. Рекомендуемые диаметры болтов (шпилек) d_6 (мм) в зависимости от давления и диаметра аппарата

Внутреннее давление p , МПа	Диаметр аппарата, мм							
	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
0...0,6	20	20	20	20	20	20	24	24...30
0,6...1,0	20	20	20	20	24...30	24...30	30	30
1,0...1,6	20	20	24...30	24...30	24...30	24...30	30	30
1,6...2,5	20	20	24...30	24...30	24...30	30	30	36
2,5...4,0	30	30	36	36	42	42	42	42

4. Вспомогательные величины для определения размеров фланца

Диаметр болта d_6 , мм	Конструктивная добавка a' , мм		Нормативный параметр e' , мм	
	гайка шестигранная (обычная)	гайка с уменьшенным размером под ключ	плоская прокладка	прокладка, овальная или восьмиугольного сечения
20	40	36	30	50
22	42	40	32	52
24	47	42	34	57
27	52	47	37	60
30	58	52	41	64
36	60	63	48	71
42	80	69	55	78
48	92	80	61	84
52	97	86	65	88

Наружный диаметр прокладки:

– для приварных встык и плоских фланцев

$$D_{\text{нп}} = D_6 - e',$$

где e' – нормативный параметр, зависящий от типа прокладки, принимается по табл. 4;

– для свободных фланцев

$$D_{\text{нп}} \leq D_{\text{н}},$$

где $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр отбортовки, кольца или бурта

$$D_{\text{н}} = D_6 - d_6 - (6 \dots 10) \text{ мм.}$$

Средний диаметр прокладки для всех фланцев:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b_{\text{п}},$$

где $b_{\text{п}}$ – ширина прокладки, принимаемая по табл. 5.

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения:

$$n \geq \frac{\pi D_6}{t_{\text{ш}}},$$

где $t_{\text{ш}}$ – рекомендуемый шаг расположения болтов в зависимости от давления, принимается по табл. 6.

Полученное число округляют в большую сторону до кратного четырём.

Предварительная толщина фланца:

– приварного встык $h \geq \lambda_{\phi} \sqrt{DS_3}$,

где S_3 – эквивалентная толщина втулки

$$S_3 = S_0 \left[1 + \frac{l^{(\beta-1)}}{l + 0,25(\beta+1)\sqrt{DS_0}} \right];$$

– плоского $h \geq \lambda_\phi \sqrt{DS_0}$;

– свободного $h_k \geq \lambda_\phi \sqrt{DS_0}$,

где λ_ϕ – коэффициент, определяемый по графику на рис. 6.

5. Размеры прокладок

Прокладки	Диаметр аппарата D , мм	Ширина прокладки b_n , мм
Плоские неметаллические	$D \leq 1000$	12...15
	$1000 < D \leq 2000$	15...25
	$D \geq 2000$	26
Плоские металлические	$D \leq 1000$	10...12
	$D > 1000$	12...15

6. Рекомендуемый шаг расположения болтов

Давление в аппарате P , МПа	Шаг расположения болтов
до 0,3	(4,2...5) d_b
0,3...0,6	(3,8...4,8) d_b
0,6...1,0	(3,5...4,2) d_b
1,0...1,6	(3,0...3,8) d_b
1,6...2,5	(2,7...3,5) d_b
2,5...4,0	(2,3...3,0) d_b
4,0...10,0	(2,1...2,8) d_b

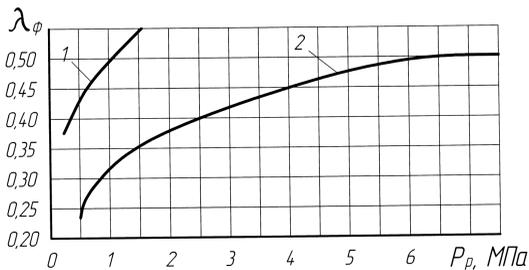


Рис. 6. График для определения коэффициента λ_ϕ

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

– для приварных встык и плоских $L_{60} = 2h + h_{\text{п}}$;

– для приварных встык и плоских с защитным кольцом $L_{60} = 2h + 2h_{\text{зк}} + h_{\text{п}}$;

– для свободных на отбортовке $L_{60} = 2h_0 + 2h_{\text{к}} + h_{\text{п}}$,

где $h_{\text{п}}$ – толщина прокладки; $h_{\text{п}} = 1 \dots 3$ мм; $h_{\text{зк}}$ – толщина защитного кольца; $h_{\text{зк}} = 10 \dots 12$ мм; h_0 – толщина отбортовки.

4. РАСЧЁТ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Делая расчёт фланцевого соединения, приходится решать несколько задач: соединение должно быть прочным, жёстким и герметичным.

Фланцевые соединения штуцеров и трубопроводов могут на прочность не рассчитываться. Фланцевые соединения аппаратов стандартные и нестандартные обязательно должны рассчитываться на прочность по ГОСТ Р 52857.4–2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений».

Эффективная ширина плоской прокладки:

$b_0 = b_{\text{п}}$ при $b_{\text{п}} \leq 15$ мм;

$b_0 = 3,8\sqrt{b_{\text{п}}}$ при $b_{\text{п}} > 15$ мм.

Характеристики прокладки принимаются по табл. П8.

Определение податливости прокладки, болтов (шпилек), фланцев

Податливость прокладки

$$y_{\text{п}} = \frac{h_{\text{п}} K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \pi D_{\text{сп}} b_{\text{п}}},$$

где $K_{\text{обж}}$ – коэффициент обжатия прокладки; $E_{\text{п}}$ – модуль продольной упругости прокладки, МПа, принимаются по табл. П8.

Податливость болтов (шпилек)

$$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} f_{\text{б}} n},$$

где $L_{\text{б}} = L_{60} + 0,28d_{\text{б}}$ – для болта; $L_{\text{б}} = L_{60} + 0,56d_{\text{б}}$ – для шпильки; $f_{\text{б}}$ – площадь сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы приведена в табл. П9.

Безразмерные коэффициенты (рис. П1):

$$K = D_{\text{н}} / D;$$

$$\beta_{\text{т}} = \frac{K^2(1 + 8,551gK) - 1}{(1,05 + 1,94K^2)(K - 1)};$$

$$\beta_U = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{1,36(K^2 - 1)(K - 1)};$$

$$\beta_Y = \frac{1}{(K - 1)} \left(0,69 + 5,72 \frac{K^2 \lg K}{K^2 - 1} \right);$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1}.$$

Для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой коэффициенты β_F , β_V и f определяются по графикам на рис. П2, П3 и П4.

Для плоских приварных и свободных фланцев $\beta_F = 0,91$; $\beta_V = 0,55$; $f = 1$.

Коэффициент

$$\lambda = \frac{\beta_F h + l_0}{\beta_T l_0} + \frac{\beta_V h^3}{\beta_U l_0 S_0^2},$$

где l_0 – параметр длины обечайки, $l_0 = \sqrt{DS_0}$.

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi = \frac{0,91 \beta_V}{E^{20} \lambda S_0^2 l_0}.$$

Угловая податливость кольца свободного фланца

$$y_\kappa = \frac{1}{E_\kappa^{20} h_\kappa^3 \Psi_\kappa},$$

где $\Psi_\kappa = 1,28 \lg \frac{D}{D_\kappa}$.

Расчётные нагрузки

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d = 0,785 D_{\text{сп}}^2 p.$$

Приведённая нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента

$$Q_{FM} = F \pm \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}}.$$

Усилие необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$P_{\text{обж}} = 0,5\pi D_{\text{сп}} b_0 q_{\text{обж}},$$

где $q_{\text{обж}}$ – удельное усилие обжатия прокладки (табл. П8).

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения

$$R_{\text{п}} = \pi D_{\text{сп}} b_0 t p,$$

где t – прокладочный коэффициент (табл. П8).

При действии наружного давления $R_{\text{п}} = 0$.

Нагрузка, вызванная температурной деформацией:

– в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами

$$Q_t = \gamma [\alpha_{\text{ф1}} h_1 (t_{\text{ф1}} - 20) + \alpha_{\text{ф2}} h_2 (t_{\text{ф2}} - 20) - \alpha_6 (h_1 + h_2) (t_6 - 20)];$$

– в соединениях со свободными фланцами

$$Q_t = \gamma [\alpha_{\text{ф1}} h_1 (t_{\text{ф1}} - 20) + \alpha_{\text{ф2}} h_2 (t_{\text{ф2}} - 20) + 2 \alpha_{\text{к}} h_{\text{к}} (t_{\text{к}} - 20) - \alpha_6 (h_1 + h_2 + 2h_{\text{к}}) (t_6 - 20)],$$

где $\alpha_{\text{ф1}}$, $\alpha_{\text{ф2}}$, $\alpha_{\text{к}}$, α_6 – коэффициенты линейного расширения для фланца, кольца свободного фланца, болта (шпильки), выбираются по табл. П4; $t_{\text{ф1}}$, $t_{\text{ф2}}$, $t_{\text{к}}$, t_6 – расчётная температура фланца, кольца свободного фланца, болта (шпильки) (табл. П1); h_1 , h_2 , $h_{\text{к}}$ – толщина фланца, кольца свободного фланца; γ – жёсткость фланцевого соединения:

– для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma = \frac{1}{y_{\text{п}} + y_6 \frac{E_6^{20}}{E_6} + \left(y_{\text{ф1}} \frac{E_1^{20}}{E_1} + y_{\text{ф2}} \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) b^2};$$

– для фланцев со свободными кольцами

$$\gamma = \frac{1}{y_{\text{п}} + y_6 \frac{E_6^{20}}{E_6} + 2 y_{\text{к}} \frac{E_{\text{к}}^{20}}{E_{\text{к}}} \alpha^2 + \left(y_{\text{ф1}} \frac{E_1^{20}}{E_1} + y_{\text{ф2}} \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) b^2},$$

где a , b – плечи действия усилий в болтах (шпильках):

– для приварных встык и плоских фланцев $b = 0,5(D_6 - D_{\text{сп}})$;

– для фланцев со свободными кольцами:

$$a = 0,5(D_6 - D_S);$$

$$b = 0,5(D_S - D_{\text{сп}}),$$

где $D_S = 0,5(D_{\text{н}} + D_{\text{к}} + 2h_0)$;

– для всех типов фланцев

$$e = 0,5(D_{\text{сп}} - D - S_3),$$

где S_3 – эквивалентная толщина втулки:

– для плоских приварных и свободных фланцев $S_3 = S_0$;

– для приварных встык фланцев S_3 см. п. 3.

Коэффициент жёсткости фланцевого соединения

– для приварных встык и плоских фланцев

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф1}} e_1 + y_{\text{ф2}} e_2) b}{y_{\text{п}} + y_{\text{п}} + (y_{\text{ф1}} + y_{\text{ф2}}) b^2};$$

– для свободных фланцев $\alpha = 1$.

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

– при затяжке фланцевого соединения

$$P_{\text{б}}^M = \max\{P_{\text{б1}}; P_{\text{б2}}\},$$

где $P_{\text{б1}}$ – расчётная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения герметичности в рабочих условиях

$$P_{\text{б1}} = \max\left\{\begin{array}{l} \alpha(Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{н}} \\ \alpha(Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{н}} + Q_{\text{т}} \end{array}\right\};$$

$P_{\text{б2}}$ – расчётная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов (шпилек)

$$P_{\text{б2}} = \max\left\{P_{\text{обж}}; 0,4 f_{\text{б}} n [\sigma]_{\text{б}}^{20}\right\};$$

– в рабочих условиях

$$P_{\text{б}}^P = P_{\text{б}}^M + (1 - \alpha)(Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}}.$$

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ БОЛТОВ (ШПИЛЕК) И ПРОКЛАДОК

Расчётные напряжения и условия прочности в болтах (шпильках):

– при затяжке

$$\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^M}{f_{\text{б}} n} \leq 1,3 \xi [\sigma]_{\text{б}}^{20},$$

где ξ – коэффициент затяжки, $\xi = 1,2$;

– в рабочих условиях

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^p}{f_6 n} \leq 1,3[\sigma]_6.$$

Условия прочности прокладки

$$q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^p\}}{\pi D_{\text{сш}} b} \leq [q].$$

РАСЧЁТ ФЛАНЦЕВ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец:

– при затяжке

$M^M = C_F P_6^M b$ – для приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца;

$M_K^M = C_F P_6^M a$ – для кольца свободного фланца;

– в рабочих условиях

$M^p = C_F \max\left\{\left|P_6^p b + (Q_d + Q_{FM})e\right|; \left|Q_d + Q_{FM}\right|e\right\}$ – для приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца;

$M_K^p = C_F P_6^p \alpha$ – для кольца свободного фланца, где C_F – коэффициент, учитывающий изгиб фланца между болтами (шпильками)

$$C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi D_6}{n}}{2d_6 + \frac{6h}{m+0,5}}}\right\}.$$

Расчётные напряжения во фланце при затяжке

Меридиональное изгибающее напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца или обечайке бурта свободного фланца:

– для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda(S_1 - C)^2 D^*};$$

- для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_0^M = f\sigma_1^M ;$$

- для плоских и свободных фланцев

$$\sigma_0^M = \sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda(S_1 - C)^2 D^*},$$

где D^* – приведённый диаметр;

- для приварных встык

$$D^* = D \text{ при } D \geq 20S_1;$$

$$D^* = D + S_0 \text{ при } D < 20S_1 \text{ и } f > 1;$$

$$D^* = D + S_1 \text{ при } D < 20S_1 \text{ и } f = 1;$$

- для плоского приварного фланца

$$D^* = D.$$

Напряжения в тарелке приварного встык и плоского фланца и бурте свободного фланца:

- радиальное напряжение

$$\sigma_R^M = \frac{(1,33\beta_F h + l_0) M^M}{\lambda h^2 l_0 D};$$

- окружное напряжение

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M;$$

- окружное напряжение кольца свободного фланца

$$\sigma_K^M = \frac{\beta_Y M_K^M}{h_K^2 D}.$$

Расчётные напряжения во фланце в рабочих условиях

Меридиональные изгибающие напряжения во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского приварного фланца или обечайке бурта свободного фланца:

- для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda(S_1 - C)^2 D^*};$$

- для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_0^P = f\sigma_1^P;$$

- для плоских приварных фланцев и со свободными кольцами

$$\sigma_0^P = \sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda(S_1 - C)^2 D^*}.$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца или обечайке бурта свободного фланца:

- для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_{1MM}^P = \frac{Q_d + F}{\pi(D + S_1)(S_1 - C)};$$

- для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_{0MM}^P = \frac{Q_d + F}{\pi(D + S_0)(S_0 - C)}.$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца или обечайке бурта свободного фланца в сечении S_0

$$\sigma_{0M0}^P = \frac{PD}{2(S_0 - C)}.$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурта свободного фланца:

- радиальное напряжение

$$\sigma_R^P = \frac{(1,33\beta_F h + l_0) M^P}{\lambda h^2 l_0 D};$$

– окружное напряжение

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y M^P}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^P;$$

– окружное напряжение в кольце свободного фланца

$$\sigma_K^P = \frac{\beta_Y M_K^P}{h^2 D_K}.$$

Условия статической прочности фланцев

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1

– при затяжке

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T [\sigma]_M;$$

– в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1MM}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1MM}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1MM}^P \right| \right\} \leq K_T [\sigma]_M,$$

где $K_T = 1,3$ – при температурной деформации; $K_T = 1,0$ – без учёта температурной деформации; $[\sigma]_M = 1,5[\sigma]$.

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 :

– при затяжке

$$\sigma_0^M \leq 1,3[\sigma]_R;$$

– в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{MM}^P \right|; \left| 0,3\sigma_0^P \pm \sigma_{0M0}^P \right|; \left| 0,7\sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0MM}^P - \sigma_{0M0}^P \right) \right| \right\} \leq 1,3[\sigma]_R,$$

где $[\sigma]_R = 3[\sigma]$.

Для плоских фланцев и буртов свободных фланцев в сечении S_0

– при затяжке

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_0^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T [\sigma]_0;$$

– в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P - \sigma_{0MM}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_0^P - \sigma_{0MM}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_0^P + \sigma_{0MM}^P \right| \right\} \leq K_T [\sigma]_0;$$

$$[\sigma]_0 = \frac{1,3}{K_T} [\sigma]_R.$$

Для фланцев всех типов в сечении S_0

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0M0}^P \right|; \left| \sigma_{0MM}^P \right| \right\} \leq [\sigma].$$

Для тарелок приварных встык фланцев, плоских фланцев и буртов свободных фланцев:

– при затяжке

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T [\sigma];$$

– в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T [\sigma].$$

Для колец свободных фланцев

– при затяжке

$$\sigma_K^M \leq K_T [\sigma]_K^{20};$$

– в рабочих условиях

$$\sigma_K^P \leq K_T [\sigma]_K.$$

ПРОВЕРКА УГЛОВ ПОВОРОТА ФЛАНЦЕВ

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях

$$\Theta = M^P y_\Phi \frac{E^{20}}{E} \leq K_\Theta [\Theta];$$

– для приварного встык фланца

$$[\Theta] = 0,006 \text{ при } D \leq 400 \text{ мм};$$

$$[\Theta] = 0,013 \text{ при } D > 2000 \text{ мм};$$

– для плоского фланца и бурта свободного фланца

$$[\Theta] = 0,013;$$

$K_{\Theta} = 1$ – рабочие условия;

$K_{\Theta} = 1,3$ – условия испытания.

Угол поворота кольца свободного фланца:

$$\Theta_{\kappa} = M_{\kappa}^P y_{\kappa} \frac{E_{\kappa}^{20}}{E_{\kappa}} \leq K_{\Theta} [\Theta]_{\kappa} ,$$

$$[\Theta]_{\kappa} = 0,002 .$$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П1

Тип фланцевого соединения	Изолированные			Неизолированные		
	t_{ϕ}	t_{κ}	t_{δ}	t_{ϕ}	t_{κ}	t_{δ}
Плоские, приварные встык	t	–	$0,97t$	$0,96t$	–	$0,85t$
Со свободными кольцами	t	$0,97t$	$0,90t$	$0,96t$	$0,90t$	$0,81t$

П2. Значение номинального допускаемого напряжения для материала болтов

Расчётная температура, °С	Номинальное допускаемое напряжение $[\sigma]$, МПа, для сталей марок					
	35, 40	12X18H10T, 10X17H13M2T	20X13	35X, 40X, 38XA	30XMA	25X1MФ
20	130	110	195	230	230	238
100	126	105	182	230	230	227
200	120	98	165	225	200	217
250	107	95	158	222	182	210
300	97	90	150	222	174	199
350	86	86	147	185	166	185
375	80	85	146	175	166	180
400	75	83	145	160	166	175

Расчётная температура, °С	Номинальное допускаемое напряжение $[\sigma]$, МПа, для сталей марок						
	25Х2М1Ф	20Х1М Ф1БР	18Х12В МБРФ	14Х17Н2	07Х16Н6	КН35ВТ	08Х15Н 24ВА4Т
20	238	238	238	232	321	208	231
100	232	234	234	230	314	196	226
200	231	224	231	220	312,5	186	221
250	224	213	227	218	309,8	186	219
300	220	202	227	209	307	186	217
350	213	185	220	207	307	186	215
375	209	183	216	–	–	186	214
400	206	182	213	–	–	186	213

П3. Значения модуля продольной упругости

Марка стали	Модуль упругости 10^{-5} , МПа, при температуре °С									
	20	100	200	300	400	450	500	550	600	650
10, 20, 25, 35, 40	2,13	2,10	1,98	1,90	1,85	–	1,79	–	–	–
35Х, 40Х, 15ХМ	2,18	2,15	2,08	2,01	1,92	–	1,79	–	–	–
12Х1МФ, 25Х1МФ	2,15	2,12	2,08	2,02	1,94	–	1,83	1,77	1,70	–
20Х13, 15Х11МФ	2,26	2,22	2,13	2,05	1,93	–	1,84	1,75	1,70	–
12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т	2,05	2,02	1,97	1,90	1,81	1,80	1,73	1,70	1,65	1,60
10Х11Н22ТЗМР	1,9	1,81	1,69	1,58	1,48	1,42	1,37	1,33	1,31	1,30

П4. Коэффициент линейного расширения сталей

Марка стали	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С, в зависимости от температуры °С					
	20 – 100	20 – 200	20 – 300	20 – 400	20 – 500	20 – 600
10, 20, 25, 30, 35	11,1	11,9	–	13,4	–	–
40	11,3	12,0	13,3	13,3	–	–
20Х13	10,4	10,9	11,4	11,8	–	–
35Х, 40Х, 38ХА	13,4	13,3	–	14,8	–	–
30ХМА	12,3	12,6	12,9	13,9	–	14,4
12Х18Н10Т	16,6	17,0	18,0	18,0	18,0	–

П5. Допускаемые напряжения для углеродистых и низколегированных сталей

Расчётная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение $[\sigma]$, МПа, для сталей марок							
	ВСт3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	154	140	196	183	147	130	180	183
100	149	134	177	160	142	125	160	160
150	145	131	171	154	139	122	154	154
200	142	126	165	148	136	118	148	148
250	131	120	162	145	132	112	145	145
300	115	108	151	134	119	100	134	134
350	105	98	140	123	106	88	123	123
375	93	93	133	116	98	82	108	116
400	85	85	122	105	92	77	92	105

П6. Значение предела текучести

Расчётная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчётное значение предела текучести σ_t , МПа, для сталей марок							
	ВСт3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	250	210	300	280	220	195	270	280
100	230	201	265,5	240	213	188	240	240
150	224	197	256,5	231	209	183	231	231
200	223	189	247,5	222	204	177	222	222
250	197	180	243	218	198	168	218	218
300	173	162	226,5	201	179	150	201	201
350	167	147	210	185	159	132	185	185
375	164	140	199,5	174	147	123	162	174
400	–	–	183	158	–	–	–	158

П7. Значение предела прочности

Расчётная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчётное значение временного сопротивления σ_b , МПа, для сталей марок							
	ВСт 3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	460	380	470	440	410	340	440	
100	435	360	425	358	380	310	385	
150	460	390	430	430	425	340	430	
200	505	420	439	439	460	382	439	
250	510	435	444	444	460	400	444	
300	520	440	445	445	460	374	445	
350	480	420	441	441	430	360	441	
375	450	402	425	425	410	330	425	

П8. Характеристики основных типов прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия $K_{обж}$	Условный модуль сжатия $E_n \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоская из: – резины по ГОСТ 7338 с твёрдостью по ШОРУ А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,04	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n} \right)$
– резины по ГОСТ 7338 с твёрдостью по ШОРУ А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n} \right)$
– паронита по ГОСТ 481 при толщине не больше 2 мм	2,5	20,0	130,0	0,9	0,02
– картона асбестового по ГОСТ 2850 при толщине 1...3 мм	2,5	20,0	130,0	0,9	0,02
– фторопласта-4 ТУ 6-05-810 при толщине 1...3 мм	2,5	10,0	40,0	1,0	0,02

П9. Площадь поперечного сечения болта (шпильки) f_b

Диаметр болта d_b , мм	M10	M12	M16	M20	M22	M24
Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы f_b , мм ²	52,2	76,2	144,0	225,0	281,5	324,0

Продолжение табл. П9

Диаметр болта d_b , мм	M27	M30	M36	M42	M48	M52
Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы f_b , мм ²	430,0	520,0	760,0	1045,0	1376,0	1652,0

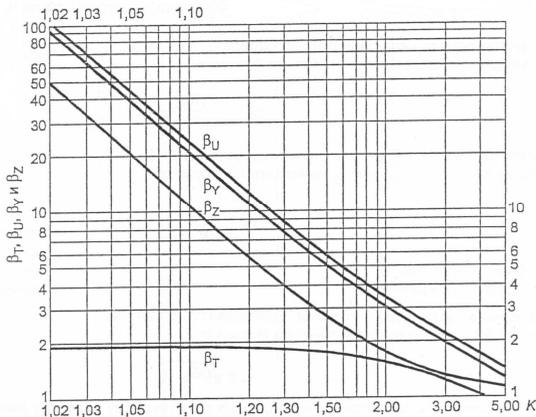


Рис. П1. Коэффициенты β_T , β_U , β_Y и β_Z , зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

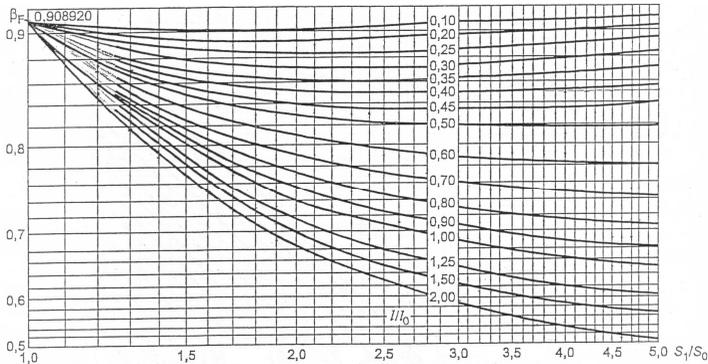


Рис. П2. Коэффициент β_F

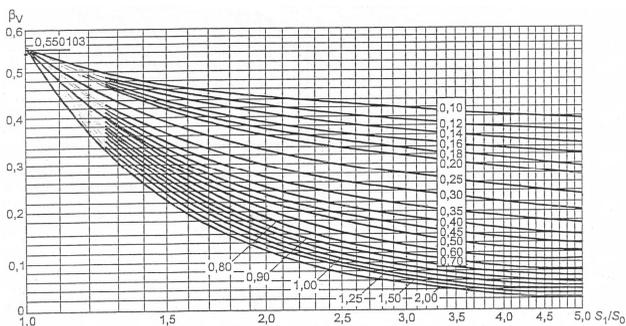


Рис. П3. Коэффициент β_V

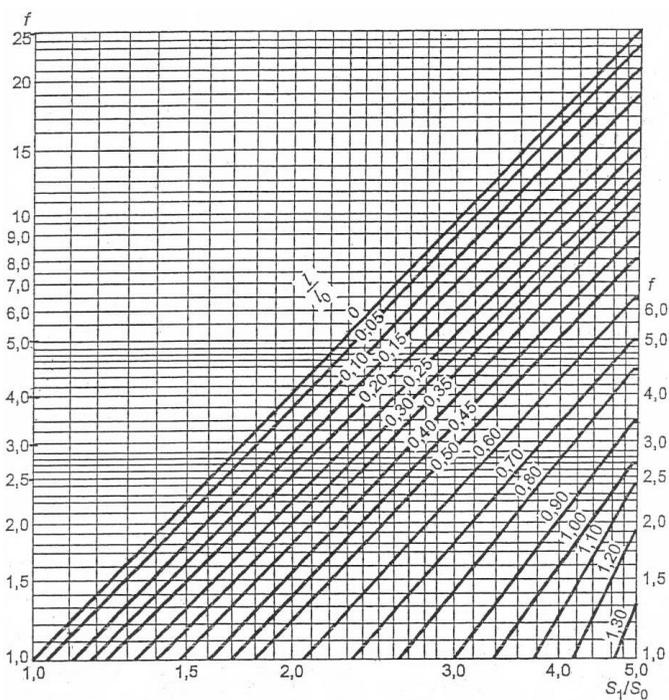


Рис. П4. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца f

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52857.1–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2008. – 23 с.
2. ГОСТ Р 52857.4–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений. – М. : Стандартинформ, 2008. – 36 с.