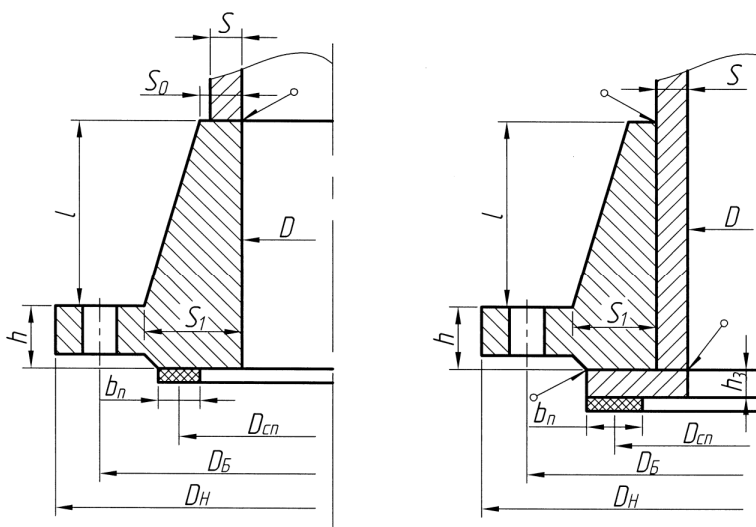


ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: КОНСТРУКЦИИ, РАЗМЕРЫ, РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ



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 | | |

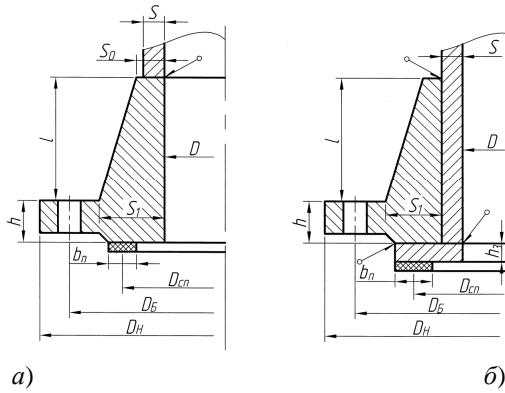


Рис. 1. Фланец с шейкой, приварной встык

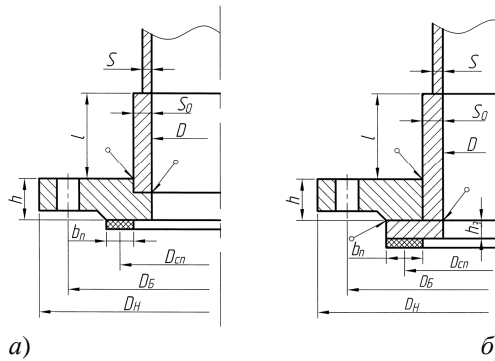


Рис. 2. Плоский приварной фланец

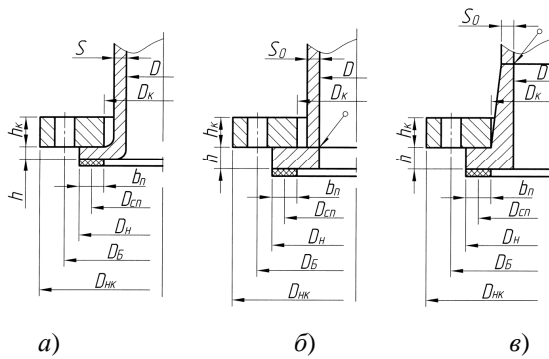


Рис. 3. Свободные фланцы:

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.

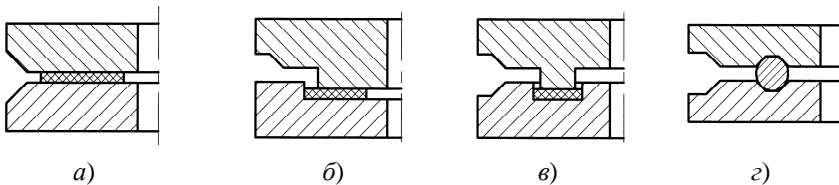


Рис. 4. Конструкции уплотнительных поверхностей:

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 O 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.

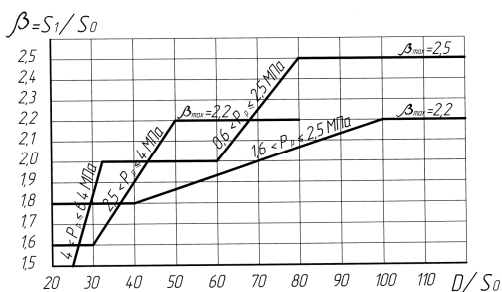


Рис. 5. График для определения коэффициента β

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 |

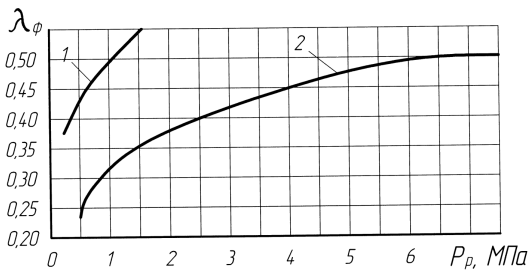


Рис. 6. График для определения коэффициента λ_ϕ

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

$$Q_d = 0,785 D_{сп}^2 p.$$

Приведённая нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента

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

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

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

где m – 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

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

$P_{\text{б2}}$ – 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

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

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 допустимого напряжения для материала болтов

| Расчётная температура, °С | Номинальное допустимое 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 | | | | | | |
|---------------------------|---|------------|-------------|---------|---------|--------|---------------|
| | 25X2M1Ф | 20X1M Ф1БР | 18X12В МБРФ | 14X17H2 | 07X16H6 | КН35ВТ | 08X15H 24BA4Т |
| 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 | – | – | – |
| 35X, 40X, 15XM | 2,18 | 2,15 | 2,08 | 2,01 | 1,92 | – | 1,79 | – | – | – |
| 12X1MФ, 25X1MФ | 2,15 | 2,12 | 2,08 | 2,02 | 1,94 | – | 1,83 | 1,77 | 1,70 | – |
| 20X13, 15X11MФ | 2,26 | 2,22 | 2,13 | 2,05 | 1,93 | – | 1,84 | 1,75 | 1,70 | – |
| 12X18H10T, 08X18H10T | 2,05 | 2,02 | 1,97 | 1,90 | 1,81 | 1,80 | 1,73 | 1,70 | 1,65 | 1,60 |
| 10X11H22T3MP | 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 $\alpha \cdot 10^6$, $1/^\circ\text{C}$, 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 | – | – |
| 20X13 | 10,4 | 10,9 | 11,4 | 11,8 | – | – |
| 35X, 40X, 38XA | 13,4 | 13,3 | – | 14,8 | – | – |
| 30XMA | 12,3 | 12,6 | 12,9 | 13,9 | – | 14,4 |
| 12X18H10T | 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 |

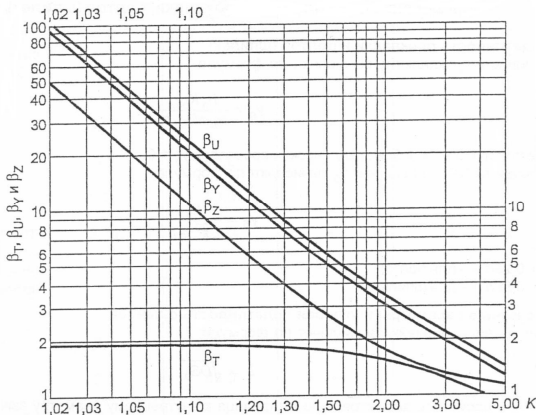


Рис. П1. Коэффициенты β_T , β_U , β_Y и β_Z , зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

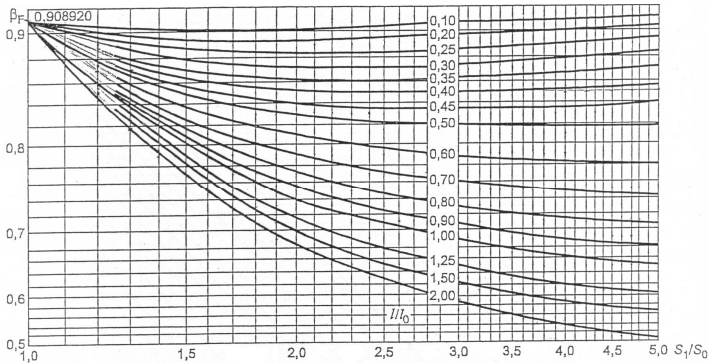


Рис. П2. Коэффициент β_F

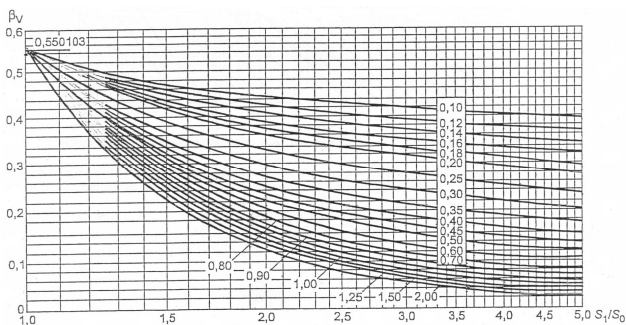


Рис. П3. Коэффициент β_V

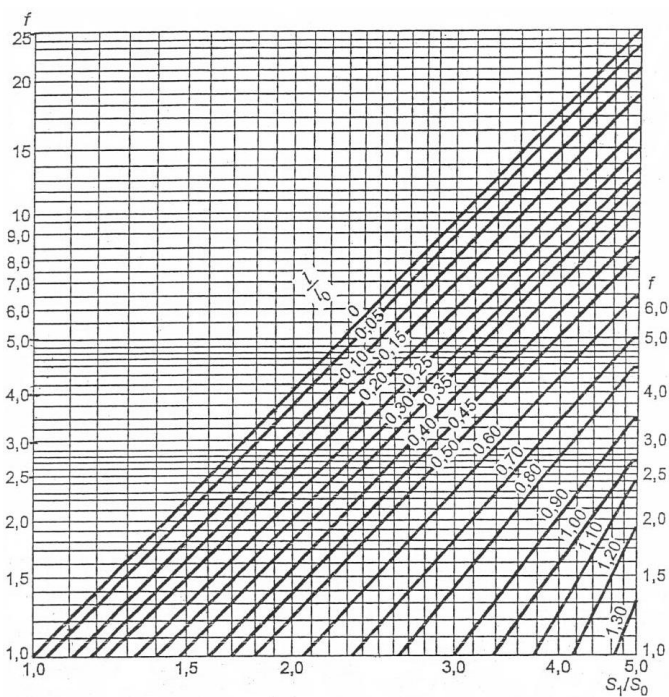


Рис. П4. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца f

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.