ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 54522— 2011**

# Сосуды и аппараты высокого давления

# НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

## Расчет цилиндрических обечаек, днищ, фланцев, крышек. Рекомендации по конструированию

**(EN 13445-3:2002, NEQ)**

**Издание официальное**

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения» (ОАО «ИркутскНИИхиммаш»), Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения» (ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ»), Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт химического машиностроения» (ОАО «НИИХИММАШ»), Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 23 «Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2011 г. № 598-ст

4 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих международных документа и стандарта: Директива 97/23/ЕС Европейского парламента и совета от 29 мая 1997 г. по сближению законодательств государств-членов, касающаяся оборудования, работающего под давлением [Directive 97/23/EC «Pressure equipment» (Directive PED), NEQ]; ЕН 13445-3—2002 «Сосуды, работающие под давлением без огневого подвода теплоты. Часть 3. Конструкция» (EN 13445-3—2002 «Unfired pressure vessels — Part 3: Design», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Май 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2012, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Обозначения . . . 2
4 Общие положения . . . 4
4.1 Расчетная температура . . . 4
4.2 Рабочее, расчетное, пробное давление, давление опрессовки . . . 4
4.3 Допустимое напряжение, коэффициенты запаса прочности . . . 5
4.4 Коэффициент прочности сварных соединений . . . 5
4.5 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов . . . 5
4.6 Сосуды с противокоррозионным покрытием . . . 6
5 Расчет цилиндрических обечаек . . . 6
5.1 Цилиндрические однослойные обечайки . . . 6
5.2 Цилиндрические многослойные обечайки . . . 6
5.3 Соединение цилиндрических обечаек . . . 7
6 Расчет днищ . . . 8
6.1 Кованые плоские отбортованные днища, сопряженные с однослойными обечайками . . . 8
6.2 Выпуклые днища, сопряженные с однослойными обечайками . . . 10
6.3 Выпуклые днища, сопряженные с многослойными обечайками . . . 11
7 Расчет фланцев . . . 13
7.1 Условия применения расчетных формул . . . 13
7.2 Поверочный расчет фланца . . . 15
8 Расчет крышек . . . 16
8.1 Плоские крышки . . . 16
8.2 Выпуклые сферические крышки . . . 17
Приложение А (справочное) Расчетные характеристики прочности сталей при повышенных температурах . . . 19
Приложение Б (справочное) Коэффициенты прочности сварных соединений . . . 23
Библиография . . . 24

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Сосуды и аппараты высокого давления**

# НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

**Расчет цилиндрических обечаек, днищ, фланцев, крышек. Рекомендации по конструированию**

High pressure vessels and apparatus.
Norms and methods of strength calculation. Calculation of cylindric shells, heads, flanges, covers.
Design recommendations

**Дата введения — 2012—06—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность при статическом нагружении и рекомендации по конструированию сосудов и аппаратов (далее — сосудов) стальных кованых, кованосварных, многослойных и однослойных, изготовленных из поковок и листового проката, работающих под действием внутреннего давления свыше 10 до 130 МПа[1)], применяемых в газовой, нефтяной, нефтехимической, химической промышленности, производстве минеральных удобрений и других смежных отраслях промышленности.

Расчетные формулы настоящего стандарта применимы при условии, что свойства материалов, требования к конструкции, изготовлению и контролю отвечают требованиям нормативных документов на изготовление и что расчетные температуры не превышают значений, при которых наступает ползучесть материалов.

При отсутствии точных данных о температуре, при которой необходимо учитывать ползучесть материала, формулы применимы для расчетной температуры стенки сосудов, не превышающей: для углеродистой стали — 380 °С, для низколегированной и среднелегированной сталей — 420 °С и для аустенитной стали — 525 °С.

Минимальная (отрицательная) температура определяется физико-механическими свойствами применяемых материалов по стандартам и техническим условиям на изготовление сосудов, утвержденными в установленном порядке.

Настоящий стандарт не распространяется на сосуды, работающие под внешним давлением.

Для сосудов, находящихся в эксплуатации, в процессе монтажа, изготовления или оконченных проектов до введения настоящих норм, переоформление расчетов на прочность в соответствии с настоящим стандартом не требуется.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 26303 Сосуды и аппараты высокого давления. Шпильки. Методы расчета на прочность

ГОСТ 34233.1 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования

ГОСТ 34233.2 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек

ГОСТ 34233.3 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер

[1)] Сосуды, изготовляемые в соответствии с [1], допускается рассчитывать по ГОСТ 34233.1— ГОСТ 34233.12.

**Издание официальное**

ГОСТ 34233.4 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

ГОСТ 34233.5 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок

ГОСТ 34233.6 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках

ГОСТ 34233.7 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты

ГОСТ 34233.8 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками

ГОСТ 34233.10 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами

ГОСТ 34233.11 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек

ГОСТ 34233.12 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Требования к форме представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$c$ — сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм;

$c_1$ — прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$c_2$ — прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$c_3$ — технологическая прибавка, мм;

$D$ — внутренний диаметр сосуда или аппарата, мм;

$D_1$ — внутренний диаметр проточки плоского днища, мм;

$D_2$ — наружный диаметр фланца корпуса, мм;

$D_3$ — диаметр окружности центров шпилек, мм;

$D_4$ — наружный диаметр фланца выпуклой крышки, мм;

$D_5$ — наименьший диаметр выточки под уплотнение, мм;

$D_6$ — наибольший диаметр выточки под уплотнение, мм;

$D_ц$ — наружный диаметр центральной обечайки, мм;

$D_к$ — наружный диаметр кожуха многослойной обечайки, мм;

$D_R$ — расчетный диаметр плоского днища и уплотнения, мм;

$d_б$ — диаметр отверстия под шпильку основного крепежа, мм;

$d_0$ — диаметр центрального отверстия в днищах или крышках, мм;

$d_i$ — диаметры отверстий в днищах или крышках, мм;

$d_{iR}$ — расчетный диаметр несквозного отверстия, определяемый с учетом глубины отверстия, мм;

$d_B$ — наружный диаметр резьбы шпильки, мм;

$\sum_{i=1}^{n} d_i$ — сумма диаметров отверстий для наиболее ослабленного диаметрального сечения в плоской крышке или днище, мм;

$F_S$ — расчетное усилие, действующее на шпильки при расчетном давлении, Н;

$F_P$ — осевая сила от действия уплотнительного кольца или прокладки, Н;

$F_Q$ — осевая сила от действия давления среды на крышку, Н;
$F_{Q1}$ — осевое усилие, действующее на поперечное сечение стенки, Н;
$F_{Q2}$ — осевое усилие, действующее на участок торца фланца, заключенный между внутренней поверхностью сосуда и средней линией уплотнительной поверхности, Н;
$H$ — высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической части, мм;
$H_1$ — толщина центральной части крышки, мм;
$H_2$ — исполнительная толщина крышки в месте расположения выточки под уплотнение, мм;
$H_{2R}$ — расчетная толщина крышки в месте расположения выточки под уплотнение, мм;
$H_3$ — исполнительная толщина периферийной части плоской крышки, мм;
$H_{3p}$ — предварительная расчетная толщина периферийной части плоской крышки, мм;
$H_{3R}$ — расчетная толщина периферийной части плоской крышки, мм;
$H_4$ — исполнительная толщина фланца выпуклой крышки, мм;
$H_{4R}$ — расчетная толщина фланца выпуклой крышки, мм;
$h$ — длина цилиндрической отбортовки выпуклого днища, мм;
$h_1$ — длина конического или радиусного перехода, мм;
$h_2$ — длина цилиндрической отбортовки плоского днища, мм;
$h_3$ — высота цилиндрической части фланца корпуса, мм;
$h_4$ — усредненная высота фланца корпуса, мм;
$h_5$ — расчетная условная высота фланца корпуса, мм;
$h_6$ — высота цилиндрической части фланца, стыкуемой с обечайкой, мм;
$K$ — коэффициент прочности днища;
$K_o$ — коэффициент ослабления днища отверстиями;
$L$ — длина дополнительных слоев многослойной обечайки, мм;
$L_1$ — длина однослойной цилиндрической вставки, мм;
$L_2$ — длина переходной части стыкуемых элементов, мм;
$l_B$ — глубина отверстий под шпильки во фланце, мм;
$l_i$ — глубина $i$-го несквозного отверстия, мм;
$M$ — расчетный изгибающий момент, Н · мм;
$[M]$ — допустимый изгибающий момент, Н · мм;
$n_в$ — коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению (пределу прочности);
$n_т$ — коэффициент запаса прочности по пределу текучести;
$p$ — расчетное давление в сосуде или аппарате, МПа;
$p_c$ — расчетное давление, воспринимаемое слоями, расположенными между центральной обечайкой и кожухом, МПа;
$[p]$ — допустимое давление, МПа;
$p_{пр}$ — пробное давление, МПа;
$R$ — расчетный радиус кривизны днища по внутренней поверхности, мм;
$r$ и $r_1$ — радиусы закругления, мм;
$R_{e/t}$ — минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа;
$R_{e/20}$ — минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С, МПа;
$R_{p0,2/t}$ — минимальное значение условного предела текучести при остаточном удлинении 0,2 % при расчетной температуре, МПа;
$R_{p0,2/20}$ — минимальное значение условного предела текучести при остаточном удлинении 0,2 % при температуре 20 °С, МПа;
$R_{p1,0/t}$ — минимальное значение предела текучести при остаточном удлинении 1,0 % при расчетной температуре, МПа;
$R_{p1,0/20}$ — минимальное значение предела текучести при остаточном удлинении 1,0 % при температуре 20 °С, МПа;
$R_{m/t}$ — минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при расчетной температуре, МПа;
$R_{m/20}$ — минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при температуре 20 °С, МПа;
$S$ — исполнительная толщина цилиндрической обечайки, мм;
$S_R$ — расчетная толщина цилиндрической обечайки, мм;
$S_1$ — исполнительная толщина днища, мм;

$S_{1R}$ — расчетная толщина днища, мм;
$S_2$ — минимальная толщина днища в зоне проточки, мм;
$S_ц$ — исполнительная толщина центральной обечайки, мм;
$S_c$ — общая исполнительная толщина слоев, расположенных между центральной обечайкой и кожухом, мм;
$S_к$ — исполнительная толщина наружного кожуха многослойной обечайки, мм;
$S_м$ — исполнительная толщина многослойной цилиндрической обечайки, мм;
$S_{мR}$ — расчетная толщина многослойной цилиндрической обечайки, мм;
$t$ — расстояние от края отверстия в выпуклой крышке или днище до внутренней стенки сосуда или аппарата, мм;
$t_2$ — расстояние между кромками соседних отверстий, мм;
$t_3$ — разность толщин стыкуемых элементов, мм;
$Z$ — число шпилек, шт.;
$\alpha$ — угол наклона образующей конической части фланца, градус;
$\beta$ — коэффициент толстостенности;
$\beta_R$ — расчетный коэффициент толстостенности;
$\theta$ — угол между нормалью к внутренней поверхности на краю днища или сферической части выпуклой крышки и осью сосуда или аппарата, градус;
$\theta^1$ — половина исполнительного угла сферического сегмента выпуклой части крышки, градус;
$[\sigma]$ — допустимое напряжение при расчетной температуре, МПа;
$[\sigma]_{20}$ — допустимое напряжение при температуре 20 °С, МПа;
$[\sigma]_ц$ — допустимое напряжение для материала центральной обечайки при расчетной температуре, МПа;
$[\sigma]_c$ — допустимое напряжение для материала слоев при расчетной температуре, МПа;
$[\sigma]_к$ — допустимое напряжение для материала кожуха при расчетной температуре, МПа;
$\varphi$ — коэффициент прочности сварных швов;
$\gamma$ — угол конусности уплотнительных поверхностей, градус;
$\rho$ — угол трения на уплотнительных поверхностях, градус.

## 4 Общие положения

### 4.1 Расчетная температура

4.1.1 Расчетную температуру используют для определения физико-механических характеристик материала и допустимых напряжений.

4.1.2 Расчетную температуру определяют на основании теплотехнических расчетов или результатов испытаний.

За расчетную температуру стенки сосуда принимают наибольшее значение температуры стенки. При температуре ниже 20 °С за расчетную температуру при определении допустимых напряжений принимают температуру 20 °С.

4.1.3 Если невозможно провести тепловые расчеты или измерения и если во время эксплуатации среда соприкасается со стенкой, то за расчетную температуру следует принимать наибольшую температуру среды, но не ниже 20 °С.

### 4.2 Рабочее, расчетное, пробное давление, давление опрессовки

4.2.1 Под рабочим давлением для сосуда следует понимать максимальное внутреннее избыточное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета гидростатического давления среды и без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана или других предохранительных устройств.

4.2.2 Под расчетным давлением для элементов сосудов следует понимать давление, на которое проводится их расчет на прочность.

Расчетное давление для элементов сосуда принимают равным максимально возможному рабочему давлению.

При повышении давления в сосуде во время действия предохранительных устройств, ограничивающих давление более чем на 10 % по сравнению с рабочим, элементы сосуда следует рассчитывать на давление, равное 90 % давления при действии этих устройств.

4.2.3 Под пробным давлением в сосуде следует понимать давление, при котором проводят испытание сосуда на прочность и плотность.

4.2.4 Значение пробного давления при гидравлических испытаниях следует назначать в соответствии с ПБ 03-576 [2].

4.2.5 Расчет прочности деталей на пробное давление проводят, подставляя в расчетные формулы значение пробного давления вместо расчетного давления $p$. При этом коэффициент запаса прочности по пределу текучести для пробного давления следует принимать по таблице 4.1.

4.2.6 Под давлением опрессовки следует понимать однократное давление при изготовлении сосуда, переводящее внутренние слои многослойной стенки за предел текучести.

4.2.7 Многослойные сосуды следует подвергать испытанию повышенным избыточным давлением опрессовки в соответствии с нормативным документом на изготовление.

4.2.8 При нагружении многослойного сосуда давлением опрессовки необходимо проводить проверку прочности деталей по формулам соответствующих разделов, подставляя в расчетные формулы значение давления опрессовки вместо расчетного давления. При этом коэффициент запаса прочности по пределу текучести при температуре испытаний принимают согласно таблице 4.1.

Указанную проверку не проводят для многослойных цилиндрических обечаек и при расчете укрепления отверстий.

### 4.3 Допустимое напряжение, коэффициенты запаса прочности

4.3.1 Допустимое напряжение при расчете по предельным нагрузкам конструктивных элементов из углеродистых, низколегированных, среднелегированных и аустенитных сталей вычисляют по формуле

$$[\sigma] = \min\left(\frac{R_{p0,2/t} \text{ или } R_{e/t}}{n_т}; \frac{R_{m/t}}{n_в}\right). \quad (1)$$

Прочностные характеристики материалов могут быть выбраны в соответствии с приложением А.

4.3.2 Коэффициенты запаса прочности $n_т$, $n_в$ в зависимости от условий нагружения следует определять в соответствии с таблицей 4.1.

Таблица 4.1 — Коэффициенты запаса прочности

| Условие нагружения | Рассчитываемый элемент | $n_т$ | $n_в$ |
|---|---|---|---|
| Рабочие условия | Все элементы, кроме шпилек | 1,50 | 2,4 |
| | Шпильки | 1,50 | — |
| Условия испытания: | | | |
| - гидравлические | Все элементы | 1,10 | — |
| - пневматические | Все элементы | 1,20 | — |
| - опрессовка многослойных сосудов | Все элементы, кроме шпилек | 1,07 | — |
| | Шпильки | 1,00 | — |

### 4.4 Коэффициент прочности сварных соединений

В формулы для расчетов на прочность элементов сосудов, имеющих сварные соединения, необходимо вводить коэффициент $\varphi$, учитывающий снижение прочности сварного шва по сравнению с основным металлом.

Значения коэффициента $\varphi$ — согласно приложению Б.

### 4.5 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

4.5.1 При расчете сосудов необходимо учитывать прибавки $c$ к расчетным толщинам элементов сосудов.

Исполнительную толщину стенки элемента сосуда вычисляют по формуле

$$S \geq S_R + c, \quad (2)$$

где $S_R$ — расчетная толщина стенки элемента сосуда.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3. \quad (3)$$

При двухстороннем контакте с коррозионной и (или) эрозионной средой прибавку $c_1$ следует определять как сумму соответствующих прибавок с внутренней и наружной сторон.

При поверочном расчете прибавку вычитают из значений исполнительной толщины стенки. Если известна фактическая толщина стенки, то при поверочном расчете можно не учитывать значения $c_2$ и $c_3$.

4.5.2 Обоснование всех прибавок к расчетным толщинам должно быть приведено в технической документации.

### 4.6 Сосуды с противокоррозионным покрытием

При определении расчетной толщины стенки элементов сосудов, работающих при температуре свыше 200 °С, толщину аустенитного наплавленного или плакирующего защитного слоя, а также футеровки и аустенитной центральной обечайки не учитывают.

## 5 Расчет цилиндрических обечаек

### 5.1 Цилиндрические однослойные обечайки

5.1.1 Расчет применим для цилиндрических обечаек при выполнении условия

$$\frac{S-c}{D} \le 0{,}4. \tag{4}$$

5.1.2 Толщину цилиндрической однослойной обечайки вычисляют по формуле

$$S \ge S_R + c, \tag{5}$$

где $S_R = 0{,}5D(\beta_R - 1)$. (6)

5.1.3 Расчетный коэффициент толстостенности вычисляют по формуле

$$\beta_R = \exp\left(\frac{p}{[\sigma]\varphi}\right), \tag{7}$$

где $\varphi$ — коэффициент прочности сварных швов.

5.1.4 Допустимое давление вычисляют по формуле

$$[p] = [\sigma]\,\varphi \ln \beta, \tag{8}$$

где $\beta = \dfrac{D + 2(S-c)}{D}$. (9)

### 5.2 Цилиндрические многослойные обечайки

5.2.1 Расчет распространяется на цилиндрические многослойные обечайки с концентрическим и рулонированным расположением слоев.

5.2.2 Исполнительная толщина стенки должна удовлетворять условию

$$S \ge S_R + c. \tag{10}$$

В рулонированной обечайке к расчетной толщине стенки прибавляют толщину одного слоя.

5.2.3 Расчетную толщину цилиндрической многослойной обечайки вычисляют по формуле

$$S_{MR} = S_{ц} + S_{к} + 0{,}5D_{ц}\left[\exp\frac{p_c}{[\sigma]_c\,\varphi} - 1\right], \tag{11}$$

где $p_c = p - [\sigma]_{ц}\varphi\ln\dfrac{D_{ц}}{D} - [\sigma]_{к}\varphi\ln\dfrac{D + 2S^0_{MR}}{D + 2S^0_{MR} - 2S_{к}}$. (12)

$S^0_{MR} = 0{,}5D\left[\exp\dfrac{p}{[\sigma]_c\,\varphi} - 1\right]$ — нулевое приближение величины $S_{MR}$. (13)

Точность расчета $p_c$ проверяют подстановкой $S_{MR}$ вместо $2S^0_{MR}$ в формулу (12). Расчеты повторяют до получения одинаковых значений $p_c$ с точностью 0,2 МПа.

5.2.4 Допустимое давление вычисляют по формуле

$$[p] = [\sigma]_{ср}\varphi\ln\beta, \tag{14}$$

где $\beta = \dfrac{D + 2S}{D + 2c}$, (15)

$$[\sigma]_{ср} = \frac{[\sigma]_ц S_ц + [\sigma]_с S_с + [\sigma]_к S_к}{S_ц + S_с + S_к}. \quad (16)$$

5.2.5 При определении толщины стенки или допустимого давления не учитывают наружный кожух, изготовленный из материала с пределом текучести меньше значения

$$\sigma = \frac{2p_{тех}}{\beta^2 - 1}, \quad (17)$$

где $\beta = \frac{D_к}{D}$;

$p_{тех}$ — повышенное давление опрессовки (определяется по нормативному документу на изготовление).

### 5.3 Соединение цилиндрических обечаек

5.3.1 Соединение однослойных обечаек между собой и с многослойными обечайками и многослойных обечаек между собой рекомендуется выполнять в соответствии с рисунком 5.1.

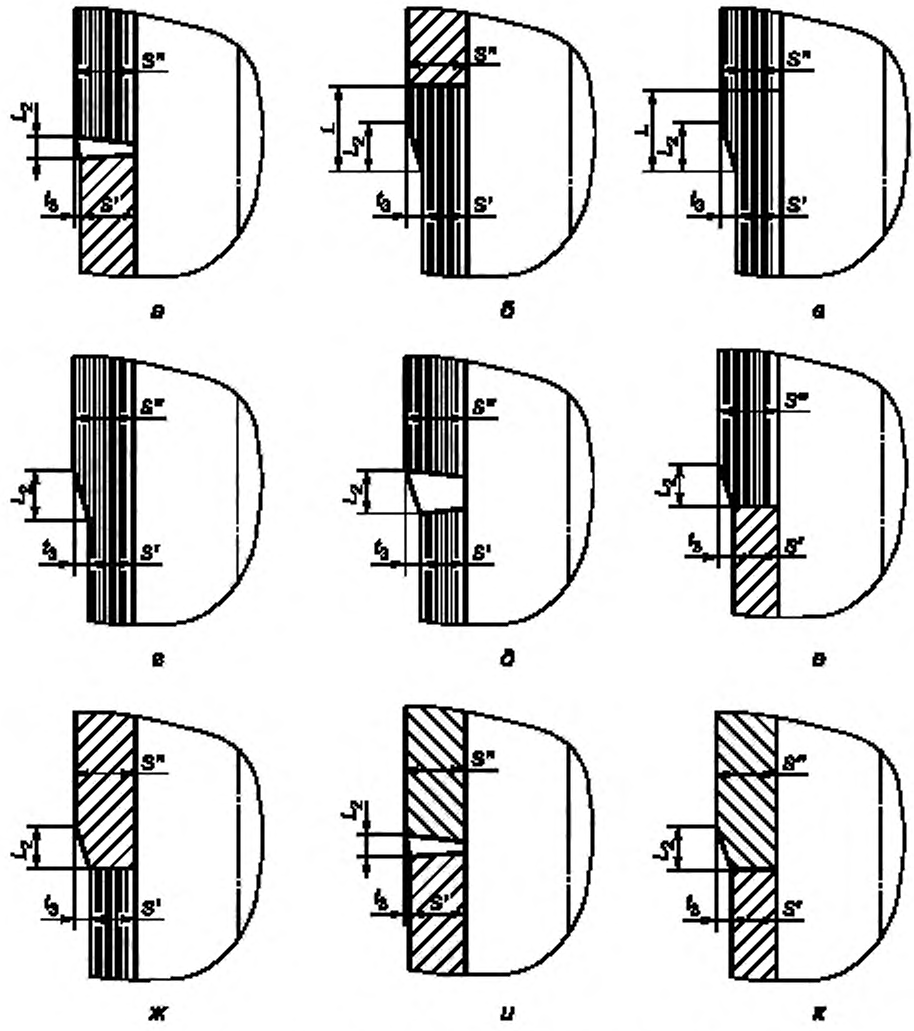


Рисунок 5.1 — Соединение цилиндрических обечаек

При этом следует соблюдать условие

$$\frac{L_2}{t_3} \geq 3. \qquad (18)$$

5.3.2 При $S''/S' > 1{,}2$ толщина более тонкой обечайки $S'$ увеличивается до толщины $S''$ в соответствии с рисунками 5.1*а*, 5.1*б*, 5.1*в*. Толщину более тонкой многослойной стенки увеличивают до величины $S''$ дополнительными слоями на длине

$$L \geq 0{,}4\sqrt{DS''}. \qquad (19)$$

При $S''/S' \leq 1{,}2$ конический переход допускается выполнять за счет скоса более толстой обечайки в соответствии с рисунками 5.1*г*, 5.1*д*, 5.1*е*, 5.1*ж*, 5.1*и*, 5.1*к*.

## 6 Расчет днищ

### 6.1 Кованые плоские отбортованные днища, сопряженные с однослойными обечайками

6.1.1 На рисунках 6.1—6.3 приведены конструктивные варианты плоских днищ.

6.1.2 Расчет применим для днищ при выполнении условий:

$$\frac{S_1 - c}{D} \leq 0{,}35; \quad r/S_R; \quad r_1/1{,}8S_R, \quad h_1/1{,}8S_R; \quad h_2/S_R.$$

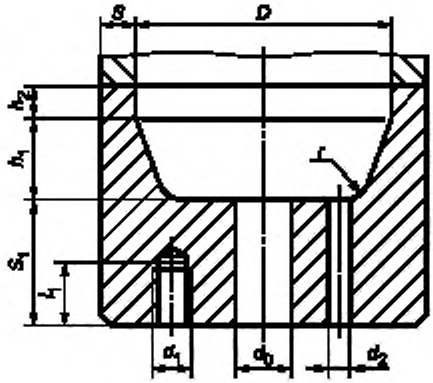


Рисунок 6.1 — Плоское днище с коническим переходом

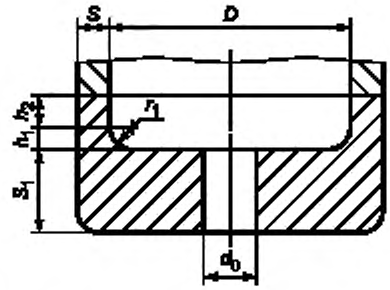


Рисунок 6.2 — Плоское днище с радиусным переходом

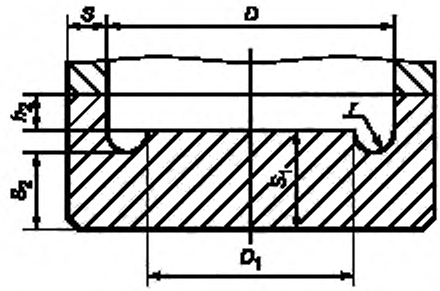


Рисунок 6.3 — Плоское днище с проточкой

6.1.3 Толщину днища с коническим и радиусным переходами, выполненными в соответствии с рисунками 6.1, 6.2, вычисляют по формуле

$$S_1 \geq S_{1R} + c, \qquad (20)$$

где $S_{1R} = 0{,}45K_o D_R \sqrt{\frac{p}{[\sigma]K_p}}$. **(21)**

Для днищ с отношением $\frac{S_1 - c}{D_R} \le 0{,}11$ принимают $K_p$ равным 1;

для днищ с отношением $\frac{S_1 - c}{D_R} > 0{,}11$ поправочный коэффициент $K_p$ вычисляют по формуле

$$K_p = \frac{2{,}2}{1 + \sqrt{1 + \left(6\frac{S_1 - c}{D_R}\right)^2}}. \quad (22)$$

6.1.4 Расчетный диаметр вычисляют по формулам:

- для днищ с коническим и радиусным переходами (см. рисунки 6.1, 6.2)

$$D_R = D - r, \quad (23)$$

- для днищ с проточкой (см. рисунок 6.3)

$$D_R = D. \quad (24)$$

6.1.5 Допустимое давление для днищ с коническим и радиусным переходами вычисляют по формуле

$$[p] = \left(\frac{S_1 - c}{0{,}45K_o D_R}\right)^2 [\sigma]K_p. \quad (25)$$

6.1.6 Расчет плоского днища с проточкой применим при соблюдении следующих условий:

$$0{,}25S_1 \le r \le S_1 - S_2; \quad (26)$$

$$S_2 \ge \max\left\{(S_1 - c)\sqrt{3\frac{D - D_1}{D}}; 0{,}5D\frac{p}{[\sigma]}\right\}. \quad (27)$$

6.1.7 Толщину плоского днища с проточкой (см. рисунок 6.3) вычисляют по формулам:

$$S_1 \ge S_{1R} + c; \quad (28)$$

$$S_{1R} = 0{,}45K_o D\sqrt{\frac{p}{[\sigma]K_p}}. \quad \textbf{(29)}$$

Для днищ с отношением $\frac{S_1 - c}{D} \le 0{,}11$ $K_p = 1$;

для днищ с отношением $\frac{S_1 - c}{D} > 0{,}11$ поправочный коэффициент $K_p$ вычисляют по формуле (22).

6.1.8 Допустимое давление для плоского днища с проточкой вычисляют по формуле

$$[p] = \left(\frac{S_1 - c}{0{,}45K_o D}\right)^2 [\sigma]K_p. \quad (30)$$

6.1.9 Коэффициент ослабления днища неукрепленными отверстиями $K_o$ для плоских днищ всех типов вычисляют по формуле

$$K_o = \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{D_R} + \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{D_R}\right)^2}, \quad (31)$$

где $n$ — число отверстий, попадающих в рассматриваемое сечение;

в случае одиночного центрального отверстия — по формуле

$$K_o = \sqrt{1 + \frac{d_o}{D_R} + \left(\frac{d_o}{D_R}\right)^2}. \quad (32)$$

Максимальная сумма длин диаметров и хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении днища (см. рисунок 6.4) вычисляют по формуле

$$\Sigma d_i = \max\left\{(d_1 + d_3);\ (b_2 + b_3)\right\}. \quad (33)$$

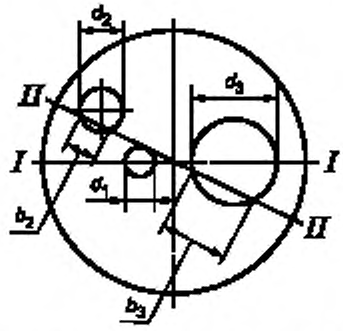


Рисунок 6.4 — Наиболее ослабленные диаметральные сечения днища

6.1.10 В случае несквозного отверстия в формулы (31) и (32) подставляют значение расчетного диаметра $d_{iR}$, определяемого с учетом глубины отверстия

$$d_{iR} = \min\left\{d_i \frac{2l_i}{S_1};\ d_i\right\}. \quad (34)$$

6.1.11 В случае ступенчатого отверстия при определении коэффициента ослабления днища отверстиями в качестве расчетного диаметра принимают эквивалентный внутренний диаметр $d_э$, определяемый из условия равенства площади фасонного сечения $f$, вырезанной из стенки днища, площади сечения $d_э S_1$, т. е.

$$d_э = \frac{f}{S_1}. \quad (35)$$

### 6.2 Выпуклые днища, сопряженные с однослойными обечайками

6.2.1 На рисунках 6.5, 6.6 приведены конструктивные варианты выпуклых днищ.

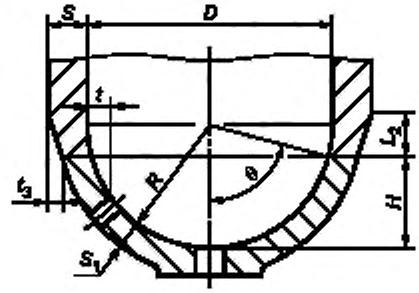


Рисунок 6.5 — Сферическое днище

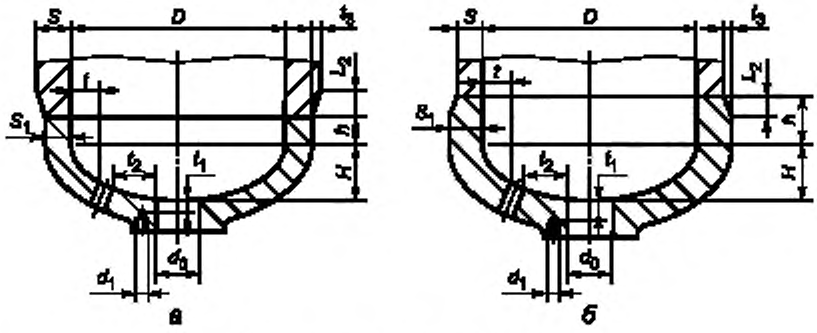


Рисунок 6.6 — Эллиптическое днище

6.2.2 Расчет применим для сферических и эллиптических днищ при соблюдении следующих условий:

а) $\frac{H}{D} \geq 0{,}2$; $\frac{S_1 - c}{D} \leq 0{,}15$;

б) минимальное расстояние $t_1$ от внутренней (наружной) поверхности днища до резьбового гнезда для крепежного элемента должно быть не менее диаметра этого гнезда, $t_1 \geq d_3 + c$;

в) угол между нормалью к внутренней поверхности на краю днища и осью сосуда или аппарата $\theta \geq 75°$.

6.2.3 В случае $S_1 < S$ или $S_1 > S$ конструктивное оформление зоны сопряжения выполняют по рисунку 6.5 или 6.6 соответственно, при этом должно соблюдаться условие $L_2/t_3 \geq 3$.

6.2.4 Толщину выпуклого днища вычисляют по формуле

$$S_1 \geq S_{1R} + c, \tag{36}$$

где $S_{1R} = \frac{pR}{2[\sigma]\varphi - 0{,}5p}$. (37)

6.2.5 Если длина цилиндрической отбортованной части $h$ больше значения $0{,}3\sqrt{D(S_1 - c)}$, то толщина днища должна быть не меньше толщины обечайки, вычисленной по формуле (6) при $[\sigma]$ для материала днища.

6.2.6 Допустимое давление вычисляют по формуле

$$[p] = \frac{2(S_1 - c)[\sigma]\varphi}{R + 0{,}5(S_1 - c)}. \tag{38}$$

6.2.7 Расчетный радиус кривизны вычисляют по формуле

$$R = \frac{D^2}{4H}, \tag{39}$$

для эллиптических днищ с $H = 0{,}25D$ $R = D$;
для полусферических днищ с $H = 0{,}5D$ $R = 0{,}5D$.

### 6.3 Выпуклые днища, сопряженные с многослойными обечайками

6.3.1 Выпуклые днища, сопряженные с многослойными обечайками, следует выполнять в соответствии с 6.2.

6.3.2 Сферические днища с углом сегмента $90° \geq \theta \geq 87°$ соединяются с многослойной обечайкой непосредственно согласно рисунку 6.7*а* или через однослойную вставку согласно рисунку 6.8.

6.3.3 Зону перехода рекомендуется выполнять по одному из вариантов рисунка 6.7*а*, при этом следует соблюдать условие $L_2/t_3 \geq 3$.

6.3.4 Принятая толщина эллиптического днища высотой $H$, равной $0{,}25D$, должна быть не менее $0{,}7\ S_{мR}$.

6.3.5 Выпуклые днища в виде сферического сегмента с углом $87° > \theta \geq 75°$ соединяются с многослойной обечайкой посредством однослойной цилиндрической вставки согласно рисунку 6.8.

6.3.6 Расчетную толщину однослойной цилиндрической вставки для днищ в виде сферического сегмента с углом $87° > \theta \geq 75°$ определяют по 5.1 и принимают не менее $S_м$.

6.3.7 Длина однослойной цилиндрической вставки в соответствии с рисунком 6.8 должна удовлетворять требованию

$$L_1 \geq 0{,}4\sqrt{DS}. \qquad (40)$$

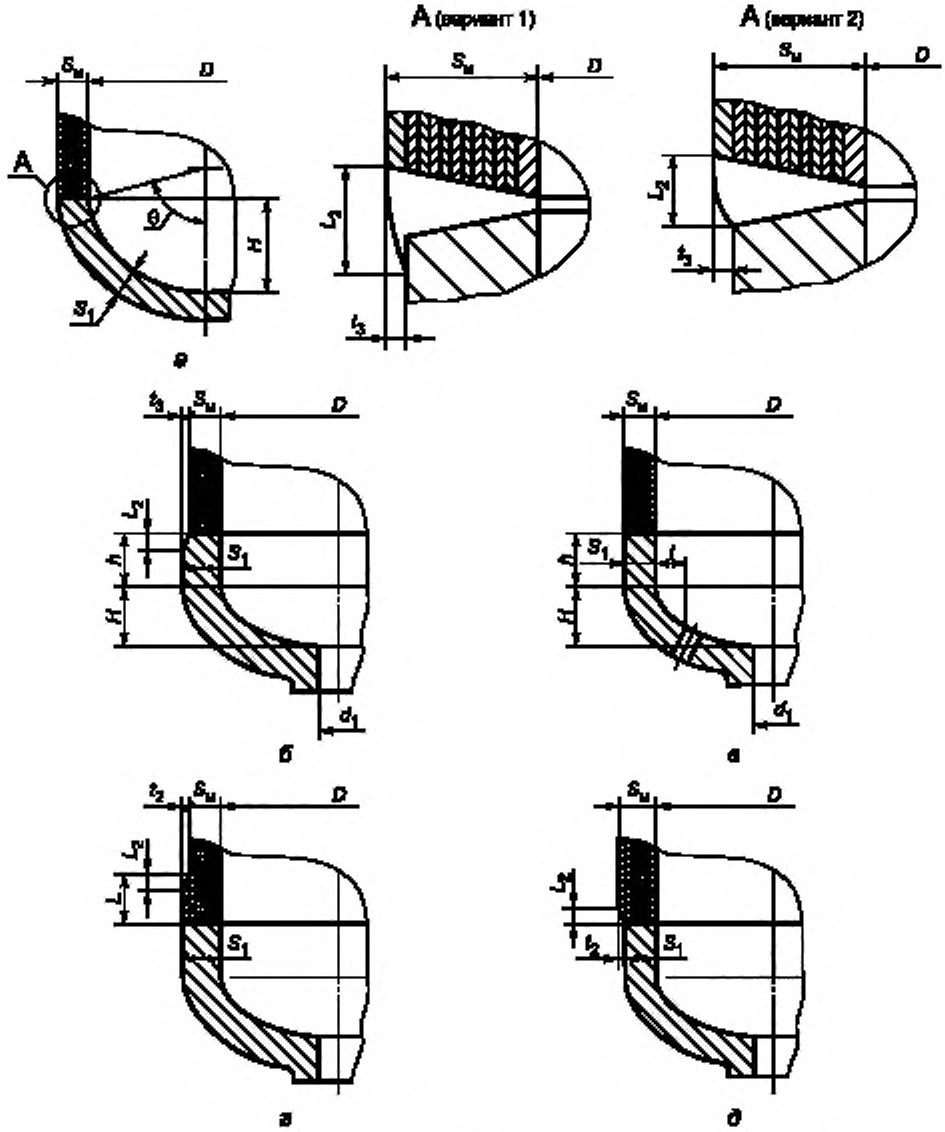


Рисунок 6.7 — Выпуклые днища, сопряженные с многослойной обечайкой без вставки

6.3.8 Зону перехода от однослойной цилиндрической вставки к днищу выполняют согласно рисунку 6.8, при этом следует соблюдать условие $L_2/t_3 \geq 3$.

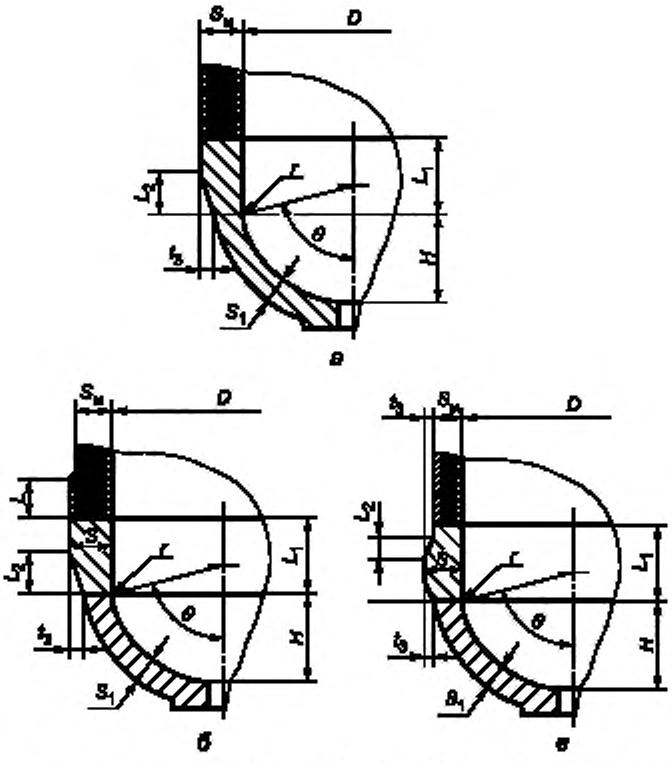


Рисунок 6.8 — Сферические днища с углом сегмента 87° > θ ≥ 75°, сопряженные с многослойной обечайкой посредством вставки

6.3.9 При $S > S_м$ (см. рисунок 6.8*б*) $S_м$ увеличивается до величины $S$ дополнительными слоями на длине

$$L \geq 0{,}4\sqrt{DS}. \qquad (41)$$

При $S/S_м < 1{,}2$ допускается не вводить дополнительные слои. При этом делается скос однослойной вставки (в соединении с многослойной обечайкой) согласно рисункам 6.8*б*, 6.8*в* так, чтобы соблюдалось условие $L_2/t_э \geq 3$.

6.3.10 Радиусы закругления $r$ на рисунках 6.8 принимают в соответствии с 6.1.2.

6.3.11 Зону сопряжения эллиптического днища с многослойной обечайкой выполняют в соответствии с рисунками 6.7*б*, 6.7*в*, 6.7*г*, 6.7*д*, при этом следует соблюдать условия

$$L = 0{,}4\sqrt{DS_1}, \quad \frac{L_2}{t_э} \geq 3. \qquad (42)$$

6.3.12 При $S_1 > S_м$,

если $S_1/S_м \geq 1{,}2$, вводят дополнительные слои в соответствии с рисунком 6.7*г*;

если $S_1/S_м < 1{,}2$, скос $L_2$ осуществляют за счет днища в соответствии с рисунком 6.7*б*.

При $S_1 < S_м$ соединение осуществляют со скосом многослойной обечайки согласно рисунку 6.7*д*.

## 7 Расчет фланцев

### 7.1 Условия применения расчетных формул

7.1.1 Расчет распространяется на кованые фланцы, соединенные посредством сварки с однослойной или многослойной цилиндрической обечайкой. Модель фланца приведена на рисунке 7.1. Схема фланца, сопряженного с многослойной обечайкой, приведена на рисунке 7.2.

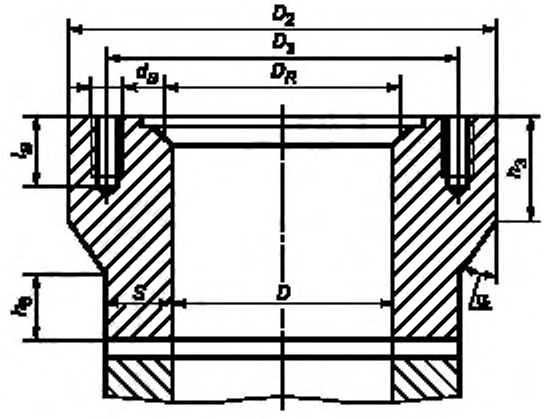


Рисунок 7.1 — Кованый фланец

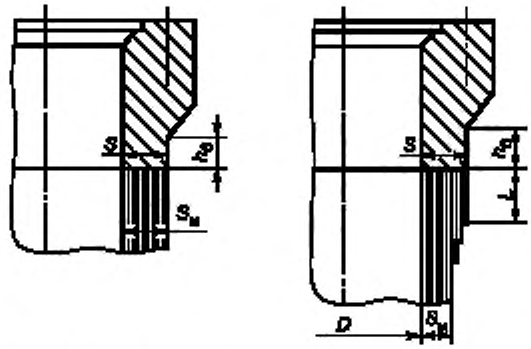


Рисунок 7.2 — Кованый фланец, сопряженный с многослойной обечайкой

7.1.2 Размеры фланца принимают, исходя из следующих соотношений.

7.1.2.1 Диаметр окружности центров шпилек вычисляют по формуле

$$D_3 \geq \max\left\{D + 2d_B; \frac{2{,}2d_B}{\sin\frac{180}{z}}\right\}. \quad (43)$$

Для затворов с плоской металлической прокладкой должно также соблюдаться условие

$$D_3 \geq 1{,}05D_6 + d_B. \quad (44)$$

7.1.2.2 Наружный диаметр фланца $D_2$ определяют из условия

$$D_2 \geq D_3 + 2d_B. \quad (45)$$

7.1.2.3 Рекомендуемый угол наклона образующей конической части фланца

$$\alpha \leq 30°, \quad (46)$$

допускается принимать

$$30° < \alpha \leq 45°. \quad (47)$$

Для радиуса перехода от конической части фланца к цилиндрическому корпусу должно выполняться условие

$$r \geq S_R. \tag{48}$$

7.1.2.4 Величины $h_3$ и $h_6$ определяют из условий:

- при $\alpha \leq 30°$

$$h_3 \geq l_B + 0{,}25d_B,\ h_6 \geq 0{,}7S_R; \tag{49}$$

- при $30° < \alpha \leq 45°$

$$h_3 \geq l_B + 0{,}75d_B,\ h_6 \geq S_R, \tag{50}$$

где $l_B$ определяют по нормативному документу на резьбовые соединения.

7.1.2.5 Исполнительная толщина $S$ стенки цилиндрической части фланца, стыкуемой с обечайкой корпуса, должна быть не менее $S_R$, определяемой по 5.1.2, и толщины стыкуемой с фланцем обечайки.

Для фланцев, стыкуемых с многослойной обечайкой, при $S > S_м$ согласно рисунку 7.2 толщину обечайки в месте стыка следует увеличить до толщины $S$ путем дополнительной намотки слоев на длине $L$, которую выбирают из формулы (41).

При $S/S_м < 1{,}2$ допускается дополнительные слои не вводить, в этом случае на фланце в месте стыка с многослойной обечайкой делается скос по аналогии с оформлением зоны сопряжения выпуклого днища с обечайкой в соответствии с 6.3 и рисунком 6.8*в*.

### 7.2 Поверочный расчет фланца

7.2.1 Условие прочности фланца на изгиб в диаметральном сечении:

$$M < [M]. \tag{51}$$

7.2.2 Изгибающий момент относительно диаметрального сечения фланца вычисляют по формуле

$$M = \frac{1}{2}\left[F_S D_3 - F_{Q1}(D+S) - F_p D_R - F_{Q2}\frac{D+D_R}{2}\right], \tag{52}$$

где $F_S$, $F_p$, $D_R$ определяют по ГОСТ 26303.

Осевое усилие, действующее на поперечное сечение стенки, вычисляют по формуле

$$F_{Q1} = \frac{\pi D^2}{4}p. \tag{53}$$

Осевое усилие, действующее на участок торца фланца, заключенный между внутренней поверхностью сосуда и средней линией уплотнительной поверхности, вычисляют по формуле

$$F_{Q2} = \frac{\pi}{4}\left(D_R^2 - D^2\right)p. \tag{54}$$

7.2.3 Допустимый изгибающий момент вычисляют по формуле

$$[M] = \frac{\pi[\sigma]}{4}\left[\left(D_2 - D - d_B\right)\left(h_4^2 - h_5^2\right) + \frac{(D+s)(s-c)^2}{2}\right], \tag{55}$$

где $h_4 = h_3 + \dfrac{D_2 - D - 2s}{4\mathrm{tg}\alpha}$; (56)

$$h_5 = \frac{ph_4}{[\sigma]\left(\ln\dfrac{D_3 - d_{Bl}}{D} + \dfrac{D_3 + d_{Bl}}{D_3 - d_{Bl}}\ln\dfrac{D_2}{D_3 + d_{Bl}}\right)}, \tag{57}$$

где $d_{Bl} = d_B\dfrac{l_B}{h_4}$. (58)

7.2.4 Допустимый изгибающий момент для фланцев, стыкуемых с многослойной обечайкой, вычисляют по формуле

$$[M] = \frac{\pi[\sigma]}{4}\left(D_2 - D - d_B\right)\left(h_4^2 - h_5^2\right). \tag{59}$$

7.2.5 Если не выполняется условие формулы (51), то необходимо увеличить высоту цилиндрической части фланца или его наружный диаметр, после чего осуществить повторный расчет.

## 8 Расчет крышек

### 8.1 Плоские крышки

8.1.1 Схема плоской крышки приведена на рисунке 8.1.

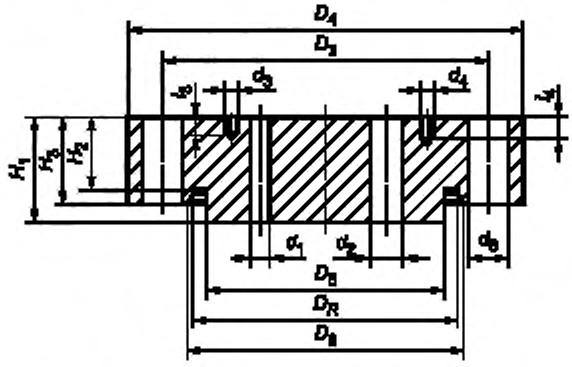


Рисунок 8.1 — Схема плоской крышки

8.1.2 Предварительную расчетную толщину крышки $H_{3p}$ вычисляют по формуле

$$H_{3p} = 0{,}41 D_R \sqrt{\frac{p}{[\sigma] K_p} \frac{D_R + 3(D_3 - D_R) F_S / F_Q}{D_4 - 2d_6 - \sum d}}, \tag{60}$$

где $F_S$, $F_Q$, $D_R$ определяют по ГОСТ 26303;

$\sum d$ — сумма хорд отверстий для наиболее ослабленного диаметрального сечения в крышке, мм, в случае несквозных отверстий $\sum d = \sum_{i=1}^{n} \min\left\{d_i; \frac{2l_i}{H_3} d_i\right\}$.

Для крышек с отношением $\frac{H_3 - c}{D_4} \le 0{,}11$ поправочный коэффициент $K_p = 1$;

для крышек с отношением $\frac{H_3 - c}{D_4} > 0{,}11$ поправочный коэффициент $K_p$ вычисляют по формуле

$$K_p = \frac{22}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{6(H_3 - c)}{D_4}\right)^2}}. \tag{61}$$

8.1.3 Уточненную толщину крышки вычисляют по формуле

$$H_3 \ge H_{3R} + c, \tag{62}$$

где $H_{3R} = 0{,}41 D_R \sqrt{\frac{p}{[\sigma] K_p} \frac{D_R + 3(D_3 - D_R)\frac{F_S}{F_Q}}{(D_4 - 2d_6 - D_6) + \left(\frac{H_2}{H_3}\right)^2 (D_6 - D_5) + \left(\frac{H_1}{H_3}\right)^2 \left(D_5 - \sum_{i=1}^{n} d_i\right)}}$. **(63)**

8.1.4 Минимальную толщину крышки в месте расположения выточки под уплотнение (в случае применения затвора с двухконусным кольцом) вычисляют по формуле

$$H_2 \geq H_{2R} + c, \tag{64}$$

где $H_{2R}$ выбирают большим из двух значений

$$H_{2R} = \frac{p\pi D_R^2 + 4F_p}{2\pi D_R [\sigma]} \text{ и} \tag{65}$$

$$H_{2R} = 0{,}41 D_R \sqrt{\frac{p}{[\sigma]} \frac{3(D_3 - D_R)\frac{F_S}{F_Q}}{D_R} + 1{,}5\left(\frac{p}{[\sigma]}\right)^2 - 6H_3^2 \frac{D_4 - D_R - 2d_6}{D_R^3}}. \tag{66}$$

Если значение подкоренного выражения в формуле (66) меньше нуля, величину $H_{2R}$ вычисляют по формуле (65).

8.1.5 В случае использования восьмигранного уплотнительного кольца расчетную толщину крышки вычисляют по формуле

$$H_{3R} = 0{,}41 D_R \sqrt{\frac{p}{[\sigma] K_p} \frac{D_R + 3(D_3 - D_R)\frac{F_S}{F_Q}}{D_4 - 2d_6 - \sum d_i} + \frac{6(F_S - F_Q)^2}{D_R^2 \pi^2 \operatorname{tg}^2(\gamma + \rho)(D_4 - 2d_6 - \sum d_i)^2 [\sigma]^2}} + \frac{F_S - F_Q}{\pi \operatorname{tg}(\gamma + \rho)(D_4 - 2d_6 - \sum d_i)[\sigma]}, \tag{67}$$

где $F_S$, $F_Q$, $D_R$, $\gamma$, $\rho$ определяют по [3] и [4], при этом согласно [3] $F_S = Q$, $F_Q = Q_g$.

### 8.2 Выпуклые сферические крышки

8.2.1 Условия применения расчетных формул:

а) $0{,}1 \leq \frac{S_1 - c}{R} \leq 0{,}2$;

б) $r \geq 0{,}4 S_1$;

в) $t \geq 0{,}1 D$;

г) половину угла сферического сегмента крышки $\theta$ принимают из интервала $55° \leq \theta \leq 80°$;

д) температура крышки до 200 °С без наружной теплоизоляции и свыше 200 °С при наличии теплоизоляции всей ее наружной поверхности;

е) уплотнение — двухконусным кольцом или кольцом треугольного сечения.

Расчетная модель выпуклой сферической крышки приведена на рисунке 8.2.

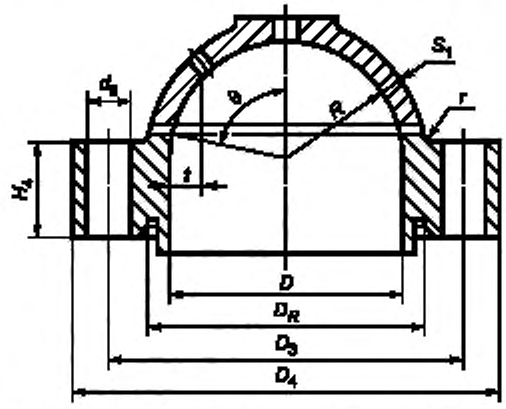


Рисунок 8.2 — Схема конструкции выпуклой крышки

8.2.2 Толщину стенки сферической части выпуклой крышки вычисляют по формуле

$$S_1 \geq S_{1R} + c, \tag{68}$$

где $S_{1R} = \dfrac{1{,}25pR}{2[\sigma]\varphi - 0{,}5p}$, (69)

[σ] — наименьшее из двух значений: допустимого напряжения материала сферической части крышки и допустимого напряжения материала фланца крышки при расчетной температуре.

8.2.3 Расчетную высоту фланца выпуклой крышки вычисляют по формуле

$$H_4 \geq H_{4R} + c, \tag{70}$$

где $H_{4R} = 2K\sqrt{\dfrac{M[\sigma]}{\pi\left([\sigma]^2 K^2 - p^2\right)\left(D_4 - D - 2d_6\right)}}$; (71)

$$K = \ln\frac{D_3 - d_6}{D} + \frac{D_3 + d_6}{D_3 - d_6}\ln\frac{D_4}{D_3 + d_6}. \tag{72}$$

8.2.4 Расчетный момент, действующий на фланцевое кольцо крышки, вычисляют по формуле

$$M = \frac{1}{2}\left[F_S D_3 - F_{Q1}\left(D + \frac{S_1}{\sin\theta}\right) - F_p D_R - F_{Q2}\frac{D + D_R}{2}\right], \tag{73}$$

где усилия $F_{Q1}$ и $F_{Q2}$ вычисляют по формулам (53) и (54);

$F_S$, $F_p$, $D_R$ определяются по ГОСТ 26303.

**Приложение А**
**(справочное)**

## Расчетные характеристики прочности сталей при повышенных температурах

Таблица А.1

| Марка стали | Максимальная толщина заготовки (листа), мм | Нормативная характеристика прочности при температуре 20 °С | | Предел текучести $R_{p0,2}$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | | Временное сопротивление $R_m$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $R_{p0,2}$, МПа | $R_m$, МПа | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 |
| 20 | 800 | 167 | 334 | 167 | 167 | 147 | 132 | 112 | 112 | — | — | 333 | 323 | 294 | 274 | 225 | 205 | — | — |
| | 300 | 215 | 410 | 206 | 196 | 177 | 157 | 135 | 130 | — | — | 410 | 402 | 392 | 373 | 350 | 325 | — | — |
| 20К | 500 | 195 | 390 | 177 | 167 | 157 | 147 | 147 | 142 | — | — | 410 | 402 | 392 | 373 | 350 | 325 | — | — |
| | 20 | 250 | 410 | 245 | 240 | 195 | 150 | — | — | — | — | 420 | 410 | 380 | 360 | 340 | — | — | — |
| | 40 | 240 | 410 | 235 | 230 | 190 | 145 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 20КА | 500 | 195 | 390 | 177 | 167 | 157 | 147 | 147 | 142 | — | — | — | 373 | 363 | 353 | 305 | 255 | — | — |
| 22К | 500 | 215 | 432 | 215 | 196 | 186 | 176 | 176 | 17[1] | — | — | 430 | 392 | 392 | 373 | 353 | 320 | — | — |
| | 70 | 255 | 432 | — | 216 | 191 | 176 | 176 | 17[1] | | | 430 | 392 | 392 | 373 | 353 | 320 | | |
| 20ЮЧ | 500 | 215 | 432 | 215 | 195 | 185 | 165 | 160 | 155 | — | — | 430 | 390 | 370 | 360 | 350 | 320 | — | — |
| 10Г2 | 500 | 215 | 432 | — | 210 | 200 | 185 | 165 | 155 | — | — | — | 410 | 390 | 360 | 320 | 300 | — | — |
| 15ГС | 350 | 294 | 490 | 294 | 275 | 226 | 167 | 150 | 145 | — | — | 46[1] | 441 | 412 | 392 | 312 | 300 | — | — |
| 16ГС | 400 | 274 | 451 | 274 | 255 | 226 | 167 | 150 | 145 | — | — | 45[1] | 441 | 412 | 392 | 312 | 300 | — | — |
| | 20 | 315 | 480 | 300 | 275 | 220 | 175 | — | — | — | — | 480 | 460 | 420 | 400 | — | — | — | — |
| | 32 | 295 | 470 | 280 | 265 | 205 | 165 | — | — | — | — | 470 | 450 | 415 | 390 | — | — | — | — |
| | 60 | 285 | 460 | 270 | 250 | 200 | 160 | — | — | — | — | 450 | 430 | 410 | 380 | — | — | — | — |
| 09Г2С | 500 | 294 | 451 | 280 | 255 | 206 | 186 | 175 | 170 | — | — | 44[1] | 432 | 383 | 373 | 355 | 345 | — | — |
| | 20 | 325 | 470 | 305 | 275 | 225 | 180 | — | — | — | — | 480 | 460 | 425 | 390 | — | — | — | — |

*Продолжение таблицы А.1*

| Марка стали | Максимальная толщина заготовки (листа), мм | Нормативная характеристика прочности при температуре 20 °С | | Предел текучести $R_{p0.2}$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | | Временное сопротивление $R_m$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $R_{p0.2}$, МПа | $R_m$, МПа | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 |
| 09Г2С | 32 | 305 | 460 | 285 | 260 | 215 | 170 | — | — | — | — | 465 | 435 | 400 | 380 | — | — | — | — |
| | 60 | 285 | 450 | 265 | 240 | 200 | 160 | — | — | — | — | 440 | 420 | 400 | 380 | — | — | — | — |
| | 80 | 275 | 440 | 260 | 235 | 195 | 155 | — | — | — | — | 430 | 410 | 390 | 370 | — | — | — | — |
| | 160 | 265 | 430 | 250 | 225 | 185 | 150 | — | — | — | — | 420 | 400 | 380 | 360 | — | — | — | — |
| 10Г2С1 | 20 | 335 | 490 | 310 | 275 | 235 | 185 | — | — | — | — | 490 | 470 | 425 | 400 | — | — | — | — |
| | 32 | 325 | 470 | 300 | 265 | 220 | 180 | — | — | — | — | 480 | 460 | 420 | 390 | — | — | — | — |
| | 60 | 325 | 450 | 300 | 265 | 220 | 180 | — | — | — | — | 460 | 450 | 410 | 380 | — | — | — | — |
| | 160 | 315 | 440 | 275 | 245 | 200 | 165 | — | — | — | — | 440 | 420 | 390 | 370 | — | — | — | — |
| 14ХГС | 550 | 314 | 490 | 294 | 275 | 255 | 226 | 195 | 185 | — | — | 466 | 441 | 422 | 392 | 372 | 365 | — | — |
| 12ХМ | 300 | 245 | 470 | 245 | 240 | 220 | 200 | 190 | 190 | 190 | 190 | 470 | 440 | 420 | 390 | 380 | 370 | 355 | 315 |
| | 100 | 245 | 431 | 245 | 240 | 216 | 196 | 186 | — | — | — | — | 430 | — | 420 | 400 | — | — | — |
| 15ХМ | 300 | 275 | 530 | 275 | 275 | 265 | 215 | 200 | 200 | 200 | 200 | 530 | 520 | 500 | 500 | 49[1] | 470 | 422 | 380 |
| 12МХ | 300 | 235 | 412 | 235 | 230 | 225 | 205 | 200 | — | — | — | 402 | 392 | 383 | 353 | 314 | — | — | — |
| | 40 | 220 | 420 | 220 | 215 | 210 | 190 | 180 | — | — | — | — | — | — | — | 380 | — | — | — |
| 12Х1МФ | 400 | 245 | 470 | 245 | 245 | 216 | 196 | 196 | 177 | 167 | 150 | 46[1] | 451 | 441 | 422 | 392 | 392 | 392 | 305 |
| | 40 | 295 | 470 | 285 | 275 | 240 | 220 | 210 | — | — | — | 410 | 430 | 420 | 380 | 350 | — | — | — |
| 30ХМА | 350 | 395 | 615 | 373 | 323 | 323 | 314 | 294 | 385 | — | — | 595 | 555 | 540 | 530 | 47[1] | 450 | — | — |
| | 80 | 650 | 800 | 620 | 600 | 500 | 480 | 440 | — | — | — | 790 | 780 | 740 | 660 | 600 | — | — | — |
| | 200 | 550 | 700 | 540 | 520 | 500 | 450 | 420 | — | — | — | 680 | 660 | 640 | 600 | 560 | — | — | — |
| 10Х2М | 50 | 295 | 450 | 240 | 230 | 216 | 206 | 196 | 186 | — | — | — | — | 400 | — | — | — | — | — |
| 08Г2СФБ | 5 | 450 | 600 | 420 | 385 | 350 | — | — | — | — | — | 585 | 570 | 550 | — | — | — | — | — |

*Продолжение таблицы А.1*

| Марка стали | Максимальная толщина заготовки (листа), мм | Нормативная характеристика прочности при температуре 20 °С | | Предел текучести $R_{p0,2}$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | | Временное сопротивление $R_m$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $R_{p0,2}$, МПа | $R_m$, МПа | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 |
| 12ХГНМ | 4 | 500 | 700 | 490 | 475 | 450 | 390 | 350 | — | — | — | 685 | 670 | 650 | 630 | — | — | — | — |
| 12ХГНМФ | 4 | 500 | 700 | 490 | 475 | 450 | 390 | 350 | — | — | — | 685 | 670 | 650 | 630 | — | — | — | — |
| 15ХГНМФТ | 5 | 450 | 650 | 440 | 425 | 410 | 370 | 350 | — | — | — | 635 | 625 | 605 | 580 | 550 | — | — | — |
| 10Х2ГНМ | 50 | 470 | 620 | 450 | 415 | 385 | 355 | 345 | — | — | — | 600 | 540 | 495 | 455 | 450 | — | — | — |
| | 80 | 450 | 580 | 440 | 400 | 375 | 345 | 340 | — | — | — | 560 | 512 | 480 | 445 | 440 | — | — | — |
| | 110 | 420 | 560 | 410 | 380 | 360 | 340 | 340 | — | — | — | 540 | 505 | 475 | 445 | 440 | — | — | — |
| | 240 | 353 | 490 | 345 | 330 | 300 | 290 | 290 | — | — | — | 480 | 435 | 400 | 390 | 390 | — | — | — |
| 20Х2МА | 550 | 392 | 539 | 378 | 348 | 304 | 260 | 240 | 220 | 216 | — | 520 | 500 | 452 | 402 | 383 | 370 | 358 | — |
| 15Х5М | 400 | 216 | 392 | 206 | 186 | 177 | 167 | 162 | 152 | 142 | 125 | 373 | 324 | 314 | 304 | 284 | 265 | 245 | 225 |
| 22Х3М | 550 | 441 | 589 | 417 | 392 | 343 | 294 | 270 | 256 | 241 | — | 569 | 540 | 490 | 441 | 412 | 402 | 392 | — |
| | 800 | 392 | 539 | 373 | 343 | 294 | 245 | 221 | 210 | 196 | — | 525 | 490 | 441 | 392 | 368 | 351 | 334 | — |
| 15Х2МФА<br>25Х2МФА<br>25Х3МФА | 400<br>450<br>600 | 432 | 539 | 422 | 412 | 402 | 395 | 395 | 380 | 363 | — | 520 | 491 | 471 | 461 | 432 | 422 | 412 | — |
| 18Х2МФА<br>25Х2МФА<br>25Х3МФА | 400<br>450<br>600 | 530 | 638 | 520 | 500 | 490 | 490 | 481 | 47[1] | 461 | — | 608 | 589 | 559 | 540 | 530 | 520 | 515 | — |
| 15Х2НМФА | 350 | 500 | 620 | — | 470 | 450 | 470 | 392 | 375 | 370 | 350 | — | 592 | 565 | 525 | 480 | 460 | 450 | 440 |
| 10Х2М1А | 300 | 310 | 490 | 310 | 285 | 260 | 225 | 220 | 205 | 195 | 185 | 490 | 450 | 400 | 360 | 340 | 310 | 275 | 265 |
| 18Х3МВ | 350 | 441 | 589 | 427 | 392 | 373 | 343 | 304 | 290 | 275 | — | 564 | 540 | 515 | 490 | 46[1] | 430 | 402 | — |
| 20Х3МВФ | 350 | 667 | 784 | 648 | 618 | 589 | 569 | 530 | 515 | 500 | 440 | 746 | 716 | 677 | 638 | 608 | 575 | 559 | 490 |

*Окончание таблицы А.1*

| Марка стали | Максимальная толщина заготовки (листа), мм | Нормативная характеристика прочности при температуре 20 °С | | Предел текучести $R_{p0.2}$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | | Временное сопротивление $R_m$, МПа, при температуре, °С | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $R_{p0.2}$, МПа | $R_m$, МПа | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 475 | 500 | 560 |
| 38ХН3МФА | 450 | 638 | 784 | 618 | 579 | 564 | 549 | 540 | — | — | — | 736 | 706 | 697 | 667 | 608 | — | — | — |
| 08Х13 | 50 | 373 | 559 | 373 | 334 | 324 | 298 | 284 | 280 | 275 | 235 | 539 | 500 | 490 | 453 | 402 | 378 | 353 | 300 |
| 12Х13 | 50 | 373 | 589 | 373 | 334 | 324 | 319 | 304 | 290 | 275 | 235 | 589 | 539 | 539 | 510 | 490 | 430 | 383 | 363 |
| 20Х13 | 200 | 471 | 628 | 451 | 417 | 363 | 363 | 343 | 330 | 324 | 280 | — | 589 | 530 | 490 | 46[1] | 401 | 363 | 310 |
| 30Х13 | 300 | 559 | 696 | 539 | 520 | 500 | 441 | 427 | 420 | 417 | 380 | — | 667 | 657 | 628 | 569 | 540 | 530 | 460 |
| 08Х22Н6Т | 1000 | 343 | 539 | — | 318 | 260 | — | — | — | — | — | — | — | 520 | 464 | — | — | — | — |
| 08Х21Н6М2Т | 1000 | 343 | 539 | — | 318 | 260 | — | — | — | — | — | — | — | 520 | 464 | — | — | — | — |
| 03Х17Н14М3 | 1000 | 176 | 490 | 170 | 160 | 150 | 147 | 142 | — | — | — | — | 480 | 450 | 425 | 400 | — | — | — |
| 08Х18Н9Т<br>08Х18Н10Т<br>08Х18Н12Т<br>12Х18Н10Т<br>10Х17Н13М2Т<br>10Х17Н13М3Т<br>08Х17Н15М3Т | 1000 | 196 | 490 | 186 | 172 | 157 | 147 | 142 | 137 | 132 | 132 | 132 | 470 | 440 | 420 | 420 | 400 | 390 | 390 |
| ХН32Т | 1000 | 176 | 470 | 165 | 165 | 160 | 160 | 155 | 155 | 155 | 150 | 150 | 460 | 430 | 410 | 395 | 385 | 370 | 360 |

**Приложение Б**
**(справочное)**

## Коэффициенты прочности сварных соединений

Таблица Б.1

| Тип сварного соединения | Способ сварки в соответствии с нормативными документами на изготовление | Метод, объем контроля и качество сварного соединения | Значение коэффициента прочности $\varphi$ |
|---|---|---|---|
| Стыковое, угловое, тавровое с полным проваром свариваемых кромок (двухстороннее; с подваркой корня шва) | Ручная покрытыми электродами; автоматическая под слоем флюса; ручная, автоматическая, механизированная в среде аргона | В соответствии с нормативными документами на изготовление | 1,0 |
| Стыковое | Электрошлаковая | | 1,0 |
| Стыковое, угловое, тавровое, доступное сварке только с одной стороны | Ручная покрытыми электродами; автоматическая под слоем флюса по ручной подварке; ручная, автоматическая, механизированная в среде аргона | | 0,9 |
| Стыковое на остающейся металлической подкладке | Ручная покрытыми электродами; автоматическая под слоем флюса; ручная, автоматическая, механизированная в среде аргона | | 0,9 |
| Стыковое, выполняемое на флюсовой, керамической или медной подушке без подварки | | | 0,8 |
| Угловое, тавровое с конструктивным зазором, нахлесточное | | | 0,8 |
| Конструктивная, технологическая перлитная наплавка на перлитные элементы сосудов | | | 1,0 |
| Конструктивная, технологическая аустенитная наплавка на перлитные элементы сосудов | | | 0,9 |

## Библиография


| | | |
|---|---|---|
| [1] | Нормативный документ межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр ПБ 03-584—03 | Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных |
| [2] | Нормативный документ межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр ПБ 03-576—03 | Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением |
| [3] | Руководящий документ РД 26-01-168—88 | Уплотнения неподвижные металлические для сосудов и аппаратов на давление свыше 10 до 100 МПа (свыше 100 до 1000 кгс/см$^2$). Методика расчета на прочность и плотность |
| [4] | Отраслевой стандарт ОСТ 26-01-86—88 | Уплотнения неподвижные металлические для сосудов и аппаратов на давление свыше 10 до 100 МПа (свыше 100 до 1000 кгс/см$^2$). Типы. Конструкции и размеры. Технические требования. Правила приемки. Методы контроля |



УДК 66.023-987.001.24:006.354 ОКС 71.120.01 ОКП 36 1000

Ключевые слова: сосуды, аппараты, высокое давление, прочность, допустимые напряжения, обечайки, днища, фланцы, крышки

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 06.05.2019. Подписано в печать 15.07.2019. Формат 60 × 84$^1/_8$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,75.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
www.jurisizdat.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru


gost.e-ecolog.ru