

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

СОСУДЫ И АППАРАТЫ

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

ГОСТ 14249–80

(СТ СЭВ 596—77, СТ СЭВ 597—77,
СТ СЭВ 1039-78— СТ СЭВ 1041-78)

Издание официальное

Цена 20 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН Министерством химического и нефтяного машиностроения

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. И. Рачков, канд. техн. наук, **С. И. Зусмановская,** канд. техн. наук (руководители темы); **Н. М. Самсонов,** канд. техн. наук **Н. П. Уманчик,** канд. техн. наук; **В. Д. Бабанский, М. В. Данилов, В. Ф. Курылев,** канд. техн. наук, **Л. С. Притыкина, И. Е. Зейде, А. К. Кузнецова**

ВНЕСЕН Министерством химического и нефтяного машиностроения

Член Коллегии **А. М. Васильев**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 7 мая 1980 г. № 2037

УДК 66.023:539.4:006.354 Группа Г02

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

ГОСТ 14249—80

СОСУДЫ И АППАРАТЫ

Нормы и методы расчета на прочность
Vessels and apparatuses.
Norms and methods of stength calculation

(СТ СЭВ 596—77, СТ СЭВ 597—77, СТ СЭВ 1039—78— СТ СЭВ 1041—78)
Взамен ГОСТ 14249—73

ОКП 36 1510

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 7 мая 1980 г. № 2037 срок введения установлен

с 01.07 1980 г.

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность цилиндрических обечаек, конических элементов, днищ и крышек сосудов и аппаратов из углеродистых и легированных сталей, применяемых в химической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности, работающих в условиях однократных и многократных статических нагрузок под внутренним избыточным давлением, вакуумом или наружным избыточным давлением и под действием осевых и поперечных усилий и изгибающих моментов, а также устанавливает значения допускаемых напряжений, модуля продольной упругости и коэффициентов прочности сварных швов. Нормы и методы расчета на прочность применимы при соблюдении «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденных Госгортехнадзором СССР, и при условии, что отклонения от геометрической формы и неточности изготовления рассчитываемых элементов сосудов и аппаратов не превышают допусков, установленных нормативно-технической документацией.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 596—77, СТ СЭВ 597—77, СТ СЭВ 1039—78—СТ СЭВ 1041—78.

Издание официальное Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1980

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1. Расчетная температура

1.1.1. Расчетная температура используется для определения физико-механических характеристик материала и допускаемых напряжений.

1.1.2. Расчетная температура определяется на основании тепловых расчетов или результатов испытаний.

При положительных температурах за расчетную температуру стенки элемента сосуда или аппарата следует принимать наибольшее значение температуры стенки.

При отрицательной температуре стенки элемента сосуда или аппарата за расчетную температуру при определении допускаемых напряжений следует принимать температуру 20 °С.

1.1.3. Если невозможно произвести тепловые расчеты или измерения и в тех случаях, когда во время эксплуатации температура стенки повышается до температуры среды, соприкасающейся со стенкой, за расчетную температуру следует принимать наибольшую температуру среды, но не ниже 20 °С.

1.2. Рабочее, расчетное и пробное давление

1.2.1. Под рабочим давлением для сосуда и аппарата следует понимать максимальное внутреннее избыточное или наружное 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.

1.2.2. Под расчетным давлением в рабочих условиях для элементов сосудов и аппаратов следует понимать давление, на которое производится их расчет на прочность.

Расчетное давление для элементов сосуда или аппарата принимают, как правило, равным рабочему давлению или выше.

При повышении давления в сосуде или аппарате во время действия предохранительных устройств более чем на 10%, по сравнению с рабочим, элементы аппарата должны рассчитываться на давление, равное 90 % давления при полном открытии клапана или предохранительного устройства.

Для элементов, разделяющих пространства с разными давлениями (например в аппаратах с обогревающими рубашками), за расчетное давление следует принимать либо каждое давление в отдельности, либо давление, которое требует большей толщины стенки рассчитываемого элемента. Если обеспечивается одновременное действие давлений, то допускается производить расчет на разность давлений.

Если на элемент сосуда или аппарата действует гидростатическое давление, составляющее 5 % и выше от рабочего, то рас-

четное давление для этого элемента должно быть повышено на эту же величину.

1.2.3. Под пробным давлением в сосуде или аппарате следует понимать давление, при котором производится испытание сосуда или аппарата.

1.2.4. Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует понимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания.

1.3. Допускаемое напряжение, коэффициенты запаса прочности и устойчивости

1.3.1. Допускаемое напряжение $[\sigma]$ при расчете по предельным нагрузкам сосудов и аппаратов, работающих при статических однократных* нагрузках, определяется:

для углеродистых и низколегированных сталей:

$$[\sigma]=\eta\cdot\min\left(\frac{\sigma_{т}\text{ или }\sigma_{0,2}}{n_{т}};\quad\frac{\sigma_{в}}{n_{в}};\quad\frac{\sigma_{д10^{5}}}{n_{д}};\quad\frac{\sigma_{1\%\,10^{5}}}{n_{п}}\right);\qquad(1)$$

для аустенитных сталей:

$$[\sigma]=\eta\cdot\min\left(\frac{\sigma_{1,0}}{n_{т}};\quad\frac{\sigma_{в}}{n_{в}};\quad\frac{\sigma_{д10^{5}}}{n_{д}};\quad\frac{\sigma_{1\%\,10^{5}}}{n_{п}}\right).\qquad(2)$$

Предел ползучести используется для определения допускаемого напряжения в тех случаях, когда отсутствуют данные по пределу длительной прочности или по условиям эксплуатации необходимо ограничить величину деформации (перемещения).

При отсутствии данных по условному пределу текучести при 1%-ном остаточном удлинении допускаемое напряжение для аустенитной стали определяют по формуле (1).

Для условий испытания допускаемое напряжение определяется

$$[\sigma]=\frac{\sigma_{т}^{20}\text{ или }\sigma_{0,2}^{20}}{n_{т}}.\qquad(3)$$

1.3.2. Коэффициенты запаса прочности должны соответствовать приведенным в табл. 1.

1.3.3. Поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям (η) должен быть равен единице, за исключением стальных отливок, для которых коэффициент η имеет следующие значения:

---

* Если сосуды и аппараты работают при многократных статических нагрузках, но количество циклов нагружения от давления, стесненности температурных деформаций или других воздействий не превышает 10^3, то такая нагрузка в расчетах на прочность условно считается однократной. При определении числа циклов нагружения не учитывается колебание нагрузки в пределах 15% от расчетной.

Таблица 1

Условия нагружения	Коэффициенты запаса прочности			
	$n_т$	$n_в$	$n_д$	$n_п$
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0
Условия испытания:				
гидравлические испытания	1,1	—	—	—
пневматические испытания	1,2	—	—	—

0,8 — для отливок, подвергающихся индивидуальному контролю неразрушающими методами;

0,7 — для остальных отливок.

1.3.4. Для сталей, широко используемых в химическом, нефтехимическом и нефтеперерабатывающем машиностроении, допускаемые напряжения для рабочих условий, определенные в соответствии с формулой (1) при $\eta = 1$, должны соответствовать приведенным в обязательных приложениях 1—3.

1.3.5. Для сосудов и аппаратов, работающих при многократных нагрузках, а также для некоторых специальных элементов, например фланцевых соединений, допускаемые напряжения должны определяться по соответствующим нормативно-техническим документам.

1.3.6. Расчетные характеристики прочности, необходимые для определения допускаемых напряжений при температуре 20 °С, определяются в соответствии со стандартами или техническими условиями на стали. При повышенных температурах расчетные механические характеристики для сталей, не приведенных в обязательных приложениях 1—3, определяются после проведения испытаний представительного количества образцов, обеспечивающего гарантированные значения прочностных свойств, и согласовываются со специализированной организацией отрасли.

1.3.7. Коэффициент запаса устойчивости ($n_у$) при расчете сосудов и аппаратов на устойчивость по нижним критическим напряжениям в пределах упругости следует принимать:

2,4 — для рабочих условий;

1,8 — для условий испытания и монтажа.

1.4. Расчетные значения модуля продольной упругости

1.4.1. Расчетные значения модуля продольной упругости E для углеродистых и легированных сталей в зависимости от температуры должны соответствовать приведенным в обязательном приложении 4.

1.5. Коэффициенты прочности сварных швов

При расчете на прочность сварных элементов сосудов и аппаратов в расчетные формулы следует вводить коэффициент прочности сварных соединений:

$\varphi_р$ — продольного шва цилиндрической или конической обечаек;

$\varphi_т$ — кольцевого шва цилиндрической или конической обечаек;

$\varphi_к$ — сварных швов кольца жесткости;

$\varphi_а$ — поперечного сварного шва для укрепляющего кольца;

φ, $\varphi_А$, $\varphi_в$ — сварных швов выпуклых и плоских днищ и крышек (в зависимости от расположения).

Числовые значения этих коэффициентов должны соответствовать приведенным в обязательном приложении 5.

Для бесшовных элементов сосудов и аппаратов $\varphi=1$.

1.6. Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

1.6.1. При расчете сосудов и аппаратов необходимо учитывать прибавку c к расчетным толщинам элементов сосудов и аппаратов.

Исполнительная толщина стенки элемента сосуда и аппарата должна определяться по следующей формуле

$$s \geqslant s_R + c. \tag{4}$$

Величина прибавки к расчетным толщинам должна определяться по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3. \tag{5}$$

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

При двухстороннем контакте с коррозионной и (или) эрозионной средой прибавка c_1 для компенсации коррозии и (или) эрозии должна соответственно увеличиваться.

Технологическая прибавка c_3 предусматривает компенсацию утонения стенки элемента сосуда или аппарата при технологических операциях — вытяжке, штамповке, гибке труб и т. д. В зависимости от принятой технологии эту прибавку следует учитывать предприятиям-изготовителям при разработке рабочих чертежей.

Прибавки c_2 и c_3 учитывают в тех случаях, когда их суммарная величина превышает 5 % номинальной толщины листа.

Технологическая прибавка c_3 не включает в себя округление расчетной толщины до стандартной толщины листа.

1.7. Проверка на усталостную прочность

1.7.1. Для сосудов и аппаратов, работающих при многократных нагрузках с количеством циклов нагружения от давления, стесненности температурных деформаций или других воздейст-

вий более 10^3 за весь срок эксплуатации, кроме расчета по настоящему стандарту, следует выполнять проверку на усталостную прочность.

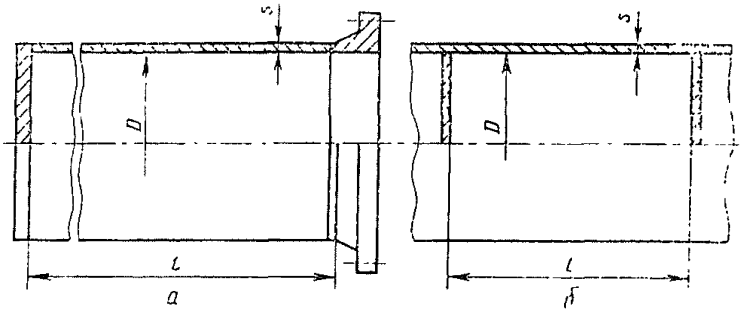
1.7.2. Если колебания нагрузки не превышают 15 % от расчетной, то проверки на усталостную прочность выполнять не следует.

2. ОБЕЧАЙКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

2.1. Расчетные схемы

2.1.1. Расчетные схемы цилиндрических обечаек приведены на черт. 1—4.

Гладкие цилиндрические обечайки

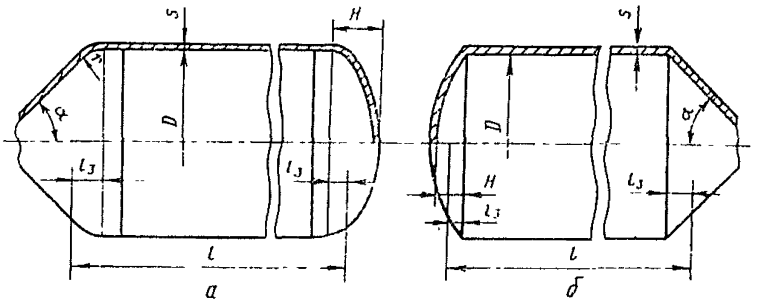


а—обечайка с фланцем или с плоским днищем, *б*—обечайка с жесткими перегородками

Черт. 1

Примечание. Черт. 1—4 не определяют конструкцию и приведены только для указания расчетных размеров.

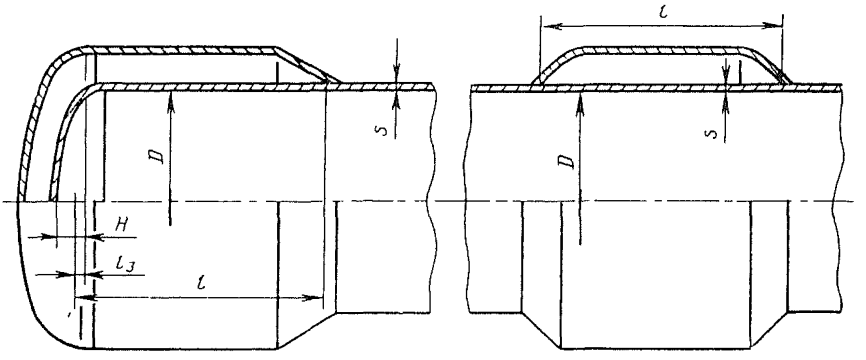
Гладкие обечайки с выпуклыми или коническими днищами



а—обечайка с отбортованными днищами, *б*—обечайка с неотбортованными днищами

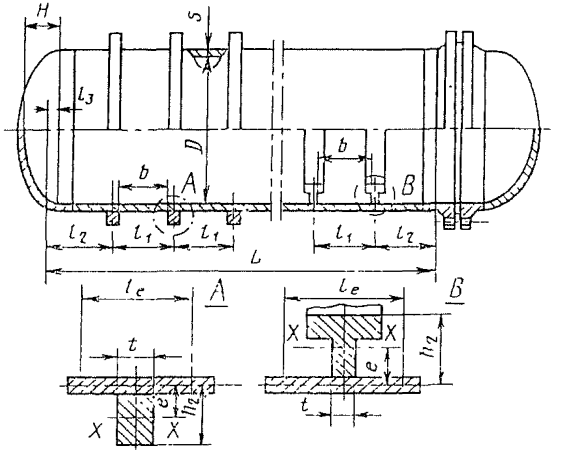
Черт. 2

Гладкие обечайки с рубашкой



Черт. 3

Цилиндрическая обечайка, подкрепленная кольцами жесткости



Черт. 4

2.2. Условия применения расчетных формул

2.2.1. Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру

$\frac{s-c}{D} \leqslant 0{,}1$ для обечаек и труб при $D \geqslant 200$ мм;

$\frac{s-c}{D} \leqslant 0{,}3$ для труб при $D < 200$ мм.

2.2.2. Расчетные формулы, приведенные в пп. 2.3.2; 2.3.4—2.3.7 и 2.4.2, следует применять при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых возникает ползучесть материалов, т. е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяется только по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если нет точных данных, то формулы допускается применять при условии, что расчетная температура стенки обечайки из углеродистой стали не превышает 380 °С, из низколегированной 420 °С, а из аустенитной 525 °С.

2.2.3. Для обечаек, подкрепленных кольцами жесткости, дополнительно к требованиям пп. 2.2.1 и 2.2.2 должны выполняться следующие ограничения:

отношение высоты сечения кольца жесткости к диаметру

$$\frac{h_2}{D} \leqslant 0{,}2;$$

расчетные формулы следует применять при условии равномерного расположения колец жесткости;

в тех случаях, когда кольца жесткости установлены неравномерно, значения b и l_1 необходимо подставлять для того участка, на котором расстояние между двумя соседними кольцами жесткости максимальное;

если $l_2 > l_1$, то в качестве расчетной длины l принимается l_2.

2.2.4. Расчетные формулы для обечаек, работающих под действием осевого сжимающего усилия, приведенные в п. 2.3.4, применимы при следующем условии:

$$\frac{l \text{ или } b}{D} \geqslant 1{,}0.$$

Для обечаек, у которых $\frac{l \text{ или } b}{D} < 1{,}0$, при отсутствии более точных расчетов допускается пользоваться формулой (22).

2.3. Гладкие цилиндрические обечайки

2.3.1. *Обечайки, нагруженные внутренним избыточным давлением*

2.3.1.1. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_R = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p}, \tag{6}$$

$$s \geqslant s_R + c. \tag{7}$$

2.3.1.2. Допускаемое внутреннее избыточное давление следует рассчитывать по формуле

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D + (s-c)}. \tag{8}$$

2.3.1.3. При изготовлении обечайки из листов разной толщины, соединенных продольными швами, расчет толщины обечайки проводят для каждого листа с учетом имеющихся в них ослаблений.

Примечание. Производить расчет на прочность для условий испытания не требуется, если расчетное давление в условиях испытания будет меньше, чем расчетное давление в рабочих условиях, умноженное на $1{,}35\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$.

2.3.2. *Обечайки, нагруженные наружным давлением*

2.3.2.1. Толщина стенки.

Толщину стенки приближенно определяют по формулам (9) и (10) с последующей проверкой по формуле (11)

$$s_R = \max\left\{K_2 D 10^{-2};\ \frac{1{,}1pD}{2[\sigma]}\right\}, \tag{9}$$

$$s \geqslant s_R + c. \tag{10}$$

Коэффициент K_2 следует определять по номограмме, приведенной на черт. 5. Примеры использования номограммы для расчета приведены на черт. 6.

2.3.2.2. Допускаемое наружное давление следует определять по формуле

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1+\left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}, \tag{11}$$

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s-c)}{D+(s-c)}, \tag{12}$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяется по формуле

$$[p]_E = \frac{18\cdot 10^{-6}E}{n_y \cdot B_1}\frac{D}{l}\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}}, \tag{13}$$

где $B_1 = \min\left\{1{,}0;\ 8{,}15\frac{D}{l}\sqrt{\frac{D}{100(s-c)}}\right\}$. (14)

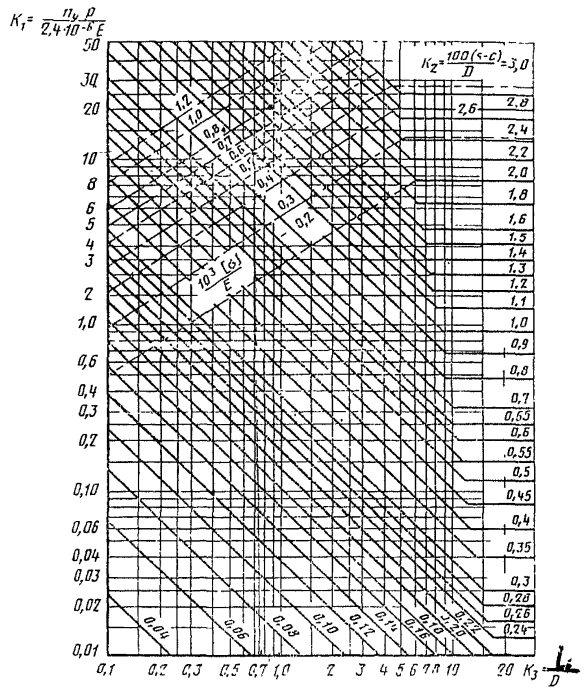
При определении расчетной длины обечайки l или L длину примыкающего элемента l_3 следует определять по формулам:

$l_3 = \frac{H}{3}$ — для выпуклых днищ;

$l_3 = \frac{D}{3\operatorname{tg}\alpha}$ — для конических обечаек (днищ) без отбортовки;

$l_3 = \max\left(r\sin\alpha;\ \frac{D}{3\operatorname{tg}\alpha}\right)$ — для конических обечаек (днищ) с отбортовкой.

Номограмма для расчета на устойчивость в пределах упругости цилиндрических обечаек, работающих под наружным давлением



Черт. 5

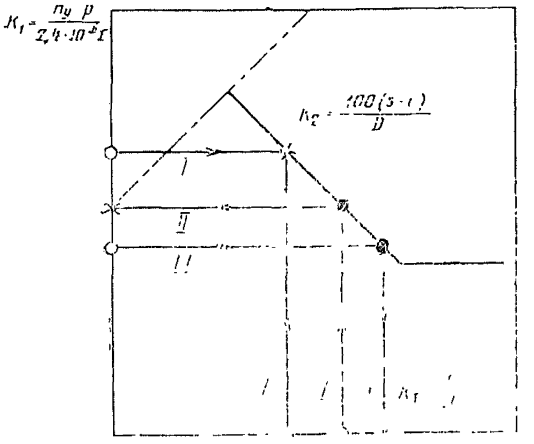
Коэффициент K_1 определяют по номограмме, приведенной на черт. 5.

Если полученное значение коэффициента K_1 лежит ниже соответствующей штрихпунктирной линии (см. черт. 5), то величину $[p]$ в предварительном расчете допускается определять по формуле

$$[p]=2{,}4\frac{K_1 10^{-6}E}{n_y}\quad .\qquad (15)$$

2.3.3. *Обечайки, нагруженные осевым растягивающим усилием*

Примеры использования номограммы (см. черт. 5)



I—определение расчетной толщины стенки; *II*—определение допускаемого наружного давления; *III*—определение допускаемой расчетной длины; ○ —начало отсчета; ◉—промежуточные точки; × —конечный результат

Черт. 6

2.3.3.1. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_R = \frac{F + 0{,}25\pi pD^2}{\pi D[\sigma]\varphi_т}\ ; \qquad (16)$$

$$s \geqslant s_R + c, \qquad (17)$$

где p — расчетное внутреннее избыточное давление.

2.3.3.2. Допускаемое осевое растягивающее усилие следует рассчитывать по формуле

$$[F] = \pi(D+s-c)(s-c)[\sigma]\varphi_т. \qquad (18)$$

2.3.4. *Обечайки, нагруженные осевым сжимающим усилием*

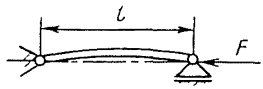
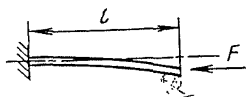
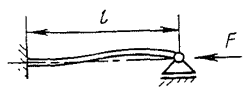
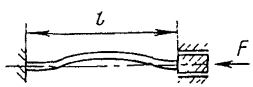
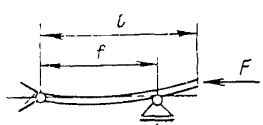
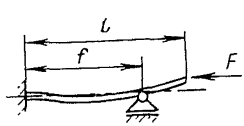
2.3.4.1. Допускаемое осевое сжимающее усилие следует рассчитывать по формуле

$$[F] = \frac{[F]_р}{\sqrt{1+\left(\frac{[F]_р}{[F]_E}\right)^2}}\ , \qquad (19)$$

где допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности

$$[F]_р = \pi(D+s-c)(s-c)[\sigma], \qquad (20)$$

Приведенная расчетная длина $l_{пр}$

Расчетная схема	$\frac{f}{l}$	$l_{пр}$
	—	l
	—	$2l$
	—	$0{,}7l$
	—	$0{,}5l$
	0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	$2{,}00l$ $1{,}73l$ $1{,}47l$ $1{,}23l$ $1{,}06l$ $1{,}00l$
	0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	$2{,}00l$ $1{,}70l$ $1{,}40l$ $1{,}11l$ $0{,}85l$ $0{,}70l$

Черт. 7

а допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости

$$[F]_E = \min\{[F]_{E_1};\ [F]_{E_2}\}. \qquad (21)$$

В формуле (21) допускаемое осевое сжимающее усилие $[F]_{E_1}$ определяется из условия местной устойчивости в пределах упругости по формуле

$$[F]_{E_1}=\frac{310\cdot10^{-6}E}{n_y}D^2\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}}, \qquad (22)$$

а допускаемое осевое сжимающее усилие $[F]_{E_2}$ — из условия общей устойчивости в пределах упругости по формуле

$$[F]_{E_2}=\frac{\pi(D+s-c)(s-c)E}{n_y}\left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2. \qquad (23)$$

Гибкость λ определяют по формуле (24)

$$\lambda=\frac{2{,}83l_{пр}}{D+s-c}. \qquad (24)$$

Приведенную расчетную длину $l_{пр}$ принимают по черт. 7.

Примечание. В случае, если $\frac{l}{D}<10$, формула (21) принимает вид

$$[F]_E=[F]_{E_1}.$$

2.3.4.2. Для рабочих условий ($n_y=2{,}4$) допускаемое сжимающее усилие можно определять по формуле (25).

$$[F]=\pi(D+s-c)(s-c)[\sigma]\min\{\varphi_1;\ \varphi_2\}. \qquad (25)$$

Коэффициенты φ_1 и φ_2 следует определять по черт. 8 и 9.

2.3.5. *Обечайки, нагруженные изгибающим моментом*

2.3.5.1. Допускаемый изгибающий момент следует рассчитывать по формуле

$$[M]=\frac{[M]_p}{\sqrt{1+\left(\frac{[M]_p}{[M]_E}\right)^2}}, \qquad (26)$$

где допускаемый изгибающий момент из условия прочности рассчитывается по формуле

$$[M]_p=\frac{\pi}{4}D(D+s-c)(s-c)[\sigma]=\frac{D}{4}[F]_p, \qquad (27)$$

а допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле

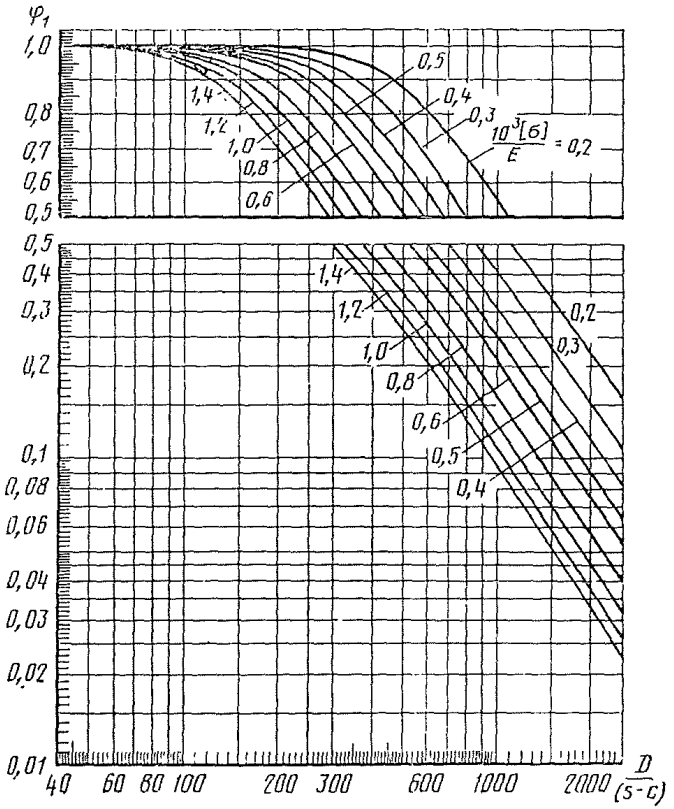
$$[M]_E=\frac{89\cdot10^{-6}E}{n_y}D^3\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}}=\frac{D}{3{,}5}[F]_{E_1}. \qquad (28)$$

2.3.5.2. Для рабочих условий ($n_y=2{,}4$) допускаемый изгибающий момент можно определять по формуле

$$[M]=\frac{\pi}{4}D(D+s-c)(s-c)[\sigma]\varphi_3. \qquad (29)$$

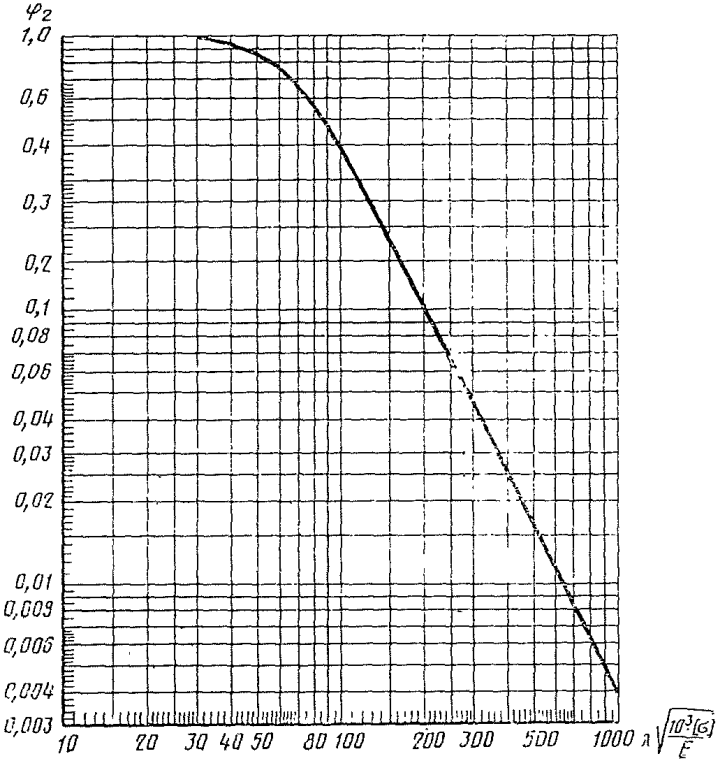
Коэффициент φ_3 следует определять по черт. 10.

График для определения коэффициента φ_1



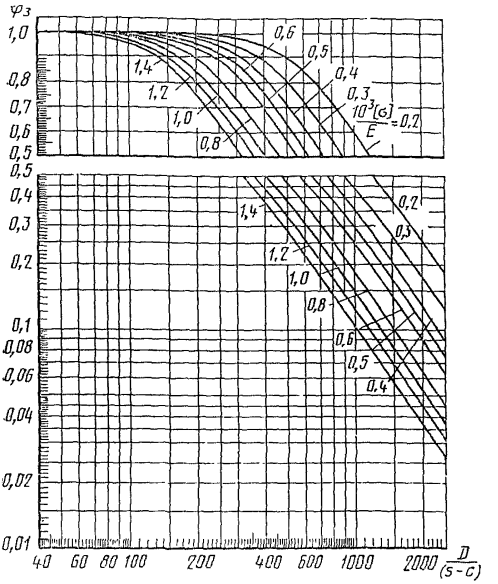
Черт. 8

График для определения коэффициента φ_2



Черт. 9

График для определения коэффициента φ_3



Черт. 10

2.3.6. *Обечайки, нагруженные поперечными усилиями*

Допускаемое поперечное усилие следует рассчитывать по формуле

$$[Q] = \frac{[Q]_p}{\sqrt{1+\left(\frac{[Q]_p}{[Q]_E}\right)^2}}, \qquad (30)$$

где допускаемое поперечное усилие из условия прочности

$$[Q]_p = 0{,}25\pi D(s-c)[\sigma], \qquad (31)$$

а допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости

$$[Q]_E = \frac{2{,}4E(s-c)^2}{n_y}\left[\,0{,}18+3{,}3\,\frac{D(s-c)}{l^2}\,\right]. \qquad (32)$$

2.3.7. *Обечайки, работающие под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия*

Обечайки, работающие под совместным действием нагрузки, проверяют на устойчивость по формуле

$$\frac{p}{[p]}+\frac{F}{[F]}+\frac{M}{[M]}+\left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2\leqslant 1{,}0, \tag{33}$$

где $[p]$ — допускаемое наружное давление по п. 2.3.2;

$[F]$ — допускаемое осевое сжимающее усилие по п. 2.3.4;

$[M]$ — допускаемый изгибающий момент по п. 2.3.5;

$[Q]$ — допускаемое поперечное усилие по п. 2.3.6.

2.4. Цилиндрические обечайки, подкрепленные кольцами жесткости

2.4.1. *Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные внутренним избыточным давлением*

2.4.1.1. Определение размеров колец жесткости при внутреннем давлении.

Для заданных расчетного давления p и толщины стенки s коэффициент K_4 следует рассчитывать по формуле

$$K_4=\frac{p(D+s-c)}{2\varphi_p[\sigma](s-c)}-1. \tag{34}$$

Если $K_4\leqslant 0$, то укрепления кольцами жесткости не требуется. В диапазоне $0<K_4<2\frac{\varphi_т}{\varphi_p}-1$ расстояние между двумя кольцами жесткости следует рассчитывать по формуле (35), а площадь поперечного сечения кольца — по формуле (36)

$$b\leqslant\sqrt{D(s-c)\left[\frac{2}{K_4}-\frac{\varphi_p}{\varphi_т}\left(1+\frac{1}{K_4}\right)\right]}; \tag{35}$$

$$A_к\geqslant l_1(s-c)\frac{[\sigma]\varphi_p}{[\sigma]_к\cdot\varphi_к}K_4. \tag{36}$$

Если $K_4\geqslant 2\frac{\varphi_т}{\varphi_p}-1$, то толщину стенки необходимо увеличить до такого размера, чтобы выполнялось следующее условие

$$0<K_4<2\frac{\varphi_т}{\varphi_p}-1.$$

Примечание. При определении площади поперечного сечения кольца жесткости $A_к$ следует учитывать прибавку c_1 для компенсации коррозии.

2.4.1.2. Допускаемое внутреннее избыточное давление, следует определять из условия

$$[p]=min\{[p]_1;[p]_2\}. \tag{37}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление, определяемое из условий прочности всей обечайки, следует рассчитывать по формуле

$$[p]_1=\frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)+2\frac{A_к}{l_1}[\sigma]_к\varphi_к}{D+(s-c)}. \tag{38}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление, определяемое из условий прочности обечайки между двумя соседними кольцами жесткости, следует рассчитывать по формуле

$$[p]_2=\frac{2[\sigma]\varphi_T(s-c)}{D+(s-c)}\cdot\frac{2+\lambda_n^2}{1+\frac{\varphi_T\lambda_n^2}{\varphi_p}}, \qquad (39)$$

где

$$\lambda_n^2=\frac{b^2}{D\cdot(s-c)}. \qquad (40)$$

2.4.2. *Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные наружным давлением*

2.4.2.1. Расчетные параметры подкрепленной обечайки:

эффективную длину стенки обечайки, учитываемую при определении эффективного момента инерции, следует определять из условия

$$l_e=\min\{l_1;\ t+1{,}1\sqrt{D(s-c)}\}; \qquad (41)$$

эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости следует определять по формуле

$$J=J_к+\frac{l_1(s-c)^3}{10{,}9}+e^2\frac{A_к l_e(s-c)}{A_к+l_e(s-c)}; \qquad (42)$$

коэффициент жесткости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости

$$k=\sqrt{\frac{10{,}9J}{l_1(s-c)^3}}. \qquad (43)$$

Примечание. При определении момента инерции кольца жесткости следует учитывать прибавку c_1 для компенсации коррозии.

2.4.2.2. Допускаемое наружное давление следует определять из условия

$$[p]=\min\{[p]_1;\ [p]_2\}. \qquad (44)$$

2.4.2.2.1. Допускаемое наружное давление, определяемое исходя из условий устойчивости всей обечайки, следует рассчитывать по формуле

$$[p]_1=\frac{[p]_{1p}}{\sqrt{1+\left(\frac{[p]_{1p}}{[p]_{1E}}\right)^2}}. \qquad (45)$$

Допускаемое наружное давление $[p]_{1p}$ должно соответствовать величине $[p]_1$, определенной по формуле (38) при значениях коэффициентов $\varphi_p=1{,}0$ и $\varphi_к=1{,}0$.

Допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости следует рассчитывать по формуле

$$[p]_{1E}=\frac{18\cdot10^{-6}E}{kB_2n_y}\frac{D}{L}\left[\frac{100k(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100k(s-c)}{D}}, \quad (46)$$

где $$B_2=\min\left\{1{,}0;\ 8{,}15\frac{D}{L}\sqrt{\frac{D}{100k(s-c)}}\right\}. \quad (47)$$

2.4.2.2.2. Допускаемое наружное давление, определяемое исходя из условий устойчивости обечайки между кольцами жесткости. Допускаемое наружное давление $[p]_2$ при значении длины $l=b$ должно соответствовать давлению $[p]$ (см. п. 2.3.2.2). Вместо $[p]_p$, определенного по формуле (12), допускается принимать $[p]_2$ по формуле (39) при значении коэффициента $\varphi_т=1{,}0$.

2.4.2.3. Определение размеров колец жесткости при наружном давлении.

После определения размеров кольца и обечайки по конструктивным соображениям следует произвести проверку в соответствии с п. 2.4.2.2.

Толщину стенки s или расстояние между кольцами жесткости для заданного расчетного давления p следует определять с помощью номограмм (см. черт. 5 и 6). При пользовании номограммой, приведенной на черт. 5, следует принимать $l=b$. Расчетный эффективный момент инерции кольца жесткости рассчитывают по формуле

$$I_p=\frac{0{,}1pD^3l_1}{E}\frac{n_y}{2{,}4}K_5. \quad (48)$$

Коэффициент K_5 следует определять по черт. 11.

После определения расчетного эффективного момента инерции методом последовательных приближений следует выбирать профиль кольца жесткости с моментом инерции $I_к$, обеспечивающим выполнение требования формулы (49)

$$I\geqslant I_p, \quad (49)$$

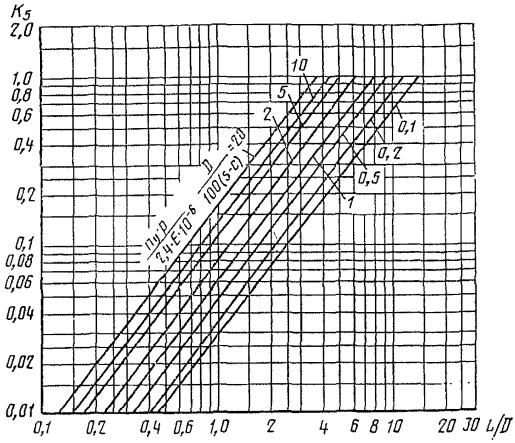
где I — эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости, определенный по формуле (42).

2.4.3. *Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные осевым растягивающим или сжимающим усилием, изгибающим моментом или поперечным усилием.*

Допускаемые нагрузки следует рассчитывать по расчетным формулам пп. 2.3.3—2.3.6 при $l=b$. При определении приведенной расчетной длины $l_{пр}$ по черт. 7 вместо l следует принимать общую длину L.

2.4.4. *Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные совместно действующими нагрузками*

График для определения коэффициента K_5



Черт. 11

Расчет следует производить аналогично расчету по п. 2.3.7, при этом допускаемое наружное давление следует определять по п. 2.4.2.2.

3. ДНИЩА ВЫПУКЛЫЕ

3.1. Расчетные схемы

3.1.1. На черт. 12 приведены расчетные схемы эллиптических, полусферических и торосферических днищ.

3.2. Условия применения расчетных формул

3.2.1. Расчетные формулы применимы:

для эллиптических днищ:

$$0{,}002 \leqslant \frac{s_1 - c}{D} \leqslant 0{,}1,$$

$$0{,}2 \leqslant \frac{H}{D} \leqslant 0{,}5;$$

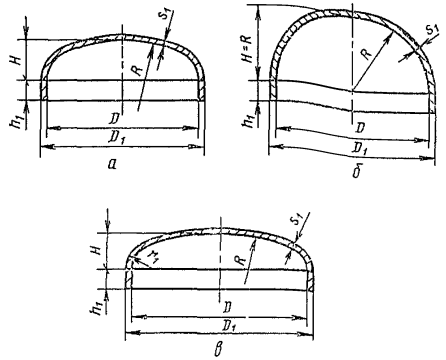
для торосферических днищ:

$$0{,}002 \leqslant \frac{s_1 - c}{D} \leqslant 0{,}1.$$

Для торосферических днищ в зависимости от соотношения параметров R, D_1, r_1 приняты следующие типы днищ:

тип А $R \approx D_1$ $r_1 \geq 0{,}095 D_1$;
тип В $R \approx 0{,}9 D_1$ $r_1 \geq 0{,}170 D_1$;
тип С $R \approx 0{,}8 D_1$ $r_1 \geq 0{,}150 D_1$.

Выпуклые днища



а—эллиптическое днище; *б*—полусферическое днище; *в*—торосферическое днище

Черт. 12

Примечание. Черт. 12 не определяет конструкцию днища и приведен только для указания необходимых расчетных размеров.

3.2.2. Расчетные формулы, приведенные в пп. 3.3.2 и 3.4.2, применимы при условии, если расчетные температуры не превышают значений, при которых возникает ползучесть материалов, т. е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяется только по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности).

Если нет точных данных, то допускается формулы применять при условии, что расчетная температура стенки днища из углеродистой стали не превышает 380°С, из низколегированной не превышает 420 °С, а из аустенитной не превышает 525 °С.

3.3. Эллиптические и полусферические днища

3.3.1. *Эллиптические и полусферические днища, нагруженные внутренним избыточным давлением*

3.3.1.1. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_{1R} = \frac{pR}{2\varphi[\sigma] - 0{,}5p}; \qquad (50)$$

$$s_1 \geq s_{1R} + c. \qquad (51)$$

3.3.1.2. Допускаемое внутреннее избыточное давление следует рассчитывать по формуле

$$[p]=\frac{2(s_1-c)\varphi[\sigma]}{R+0,5(s_1-c)}\ . \qquad (52)$$

3.3.1.3. Радиус кривизны в вершине днища равен:

$$R=\frac{D^2}{4H}\ , \qquad (53)$$

где $R=D$ — для эллиптических днищ с $H=0,25D$;

$R=0,5D$ — для полусферических днищ с $H=0,5D$.

3.3.1.4. Если длина цилиндрической отбортованной части днища

$h_1>0,8\sqrt{D(s_1-c)}$ — для эллиптического днища

или

$h_1>0,3\sqrt{D(s_1-c)}$ — для полусферического днища,

то толщина днища должна быть не меньше толщины обечайки, рассчитанной в соответствии с п. 2.3.1 при $\varphi_p=1$.

3.3.1.5. Для днищ, изготовленных из целой заготовки, коэффициент $\varphi=1$. Для днищ, изготовленных из нескольких заготовок, коэффициент φ следует определять в соответствии с обязательным приложением 5.

3.3.2. *Эллиптические и полусферические днища, нагруженные наружным давлением*

3.3.2.1. Толщина стенки приближенно определяется по формулам (54), (55) с последующей проверкой по формуле (56)

$$s_{1R}=\max\left\{\frac{K_э R}{510}\sqrt{\frac{n_y p}{10^{-6}E}}\ ;\quad \frac{pR}{2[\sigma]}\right\}\ ; \qquad (54)$$

$$s_1\geqslant s_{1R}+c. \qquad (55)$$

Для предварительного расчета $K_э$ принимается равным 0,9 для эллиптических днищ и 1,0 для полусферических днищ.

3.3.2.2. Допускаемое наружное давление следует рассчитывать по формуле

$$[p]=\frac{[p]_p}{\sqrt{1+\left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}\ , \qquad (56)$$

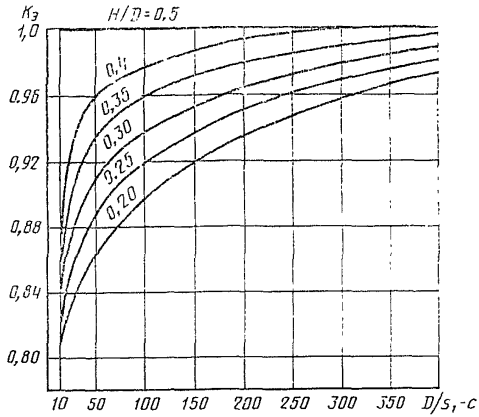
где допускаемое давление из условия прочности

$$[p]_p=\frac{2[\sigma](s_1-c)}{R+(s_1-c)}\ , \qquad (57)$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

$$[p]_E=\frac{26\cdot 10^{-6}E}{n_y}\left[\frac{100(s_1-c)}{K_э R}\right]^2\ . \qquad (58)$$

График для определения коэффициента $K_э$



Черт. 13

3.3.2.3. Коэффициент $K_э$ следует определять в соответствии с черт. 13 или по формуле (59) в зависимости от отношения $\frac{H}{D}$ и $\frac{D}{s_1-c}$

$$K_э=\frac{1+(2,4+8x)x}{1+(3,0+10x)x}, \tag{59}$$

где $$x=10\frac{s_1-c}{D}\left(\frac{D}{2H}-\frac{2H}{D}\right). \tag{60}$$

3.4. Торосферические днища

3.4.1. *Торосферические днища, нагруженные внутренним избыточным давлением*

3.4.1.1. Толщину стенки в краевой зоне следует рассчитывать по формулам

$$s_{1R}=\frac{pD_1\beta_1}{2\varphi[\sigma]}; \tag{61}$$

$$s_1\geqslant s_{1R}+c. \tag{62}$$

Для сварных днищ следует дополнительно проверить толщину стенки в центральной зоне по формулам:

$$s_{1R}=\frac{pR}{2\varphi[\sigma]-p}; \tag{63}$$

$$s_1\geqslant s_{1R}+c. \tag{64}$$

3.4.1.2. Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны следует рассчитывать по формуле

$$[p]=\frac{2(s_1-c)\varphi[\sigma]}{D_1\beta_2}\ . \qquad (65)$$

Для сварных днищ необходимо дополнительно проверить допускаемое избыточное давление из условия прочности центральной зоны по формуле

$$[p]=\frac{2(s_1-c)\varphi[\sigma]}{R+(s_1-c)}\ . \qquad (66)$$

За допускаемое давление принимается меньшее из давлений, определяемых по формулам (65), (66).

В случае сварки днищ из листов различной толщины в формулы (65), (66) следует подставлять соответствующие значения толщин стенок для краевой и центральной зон.

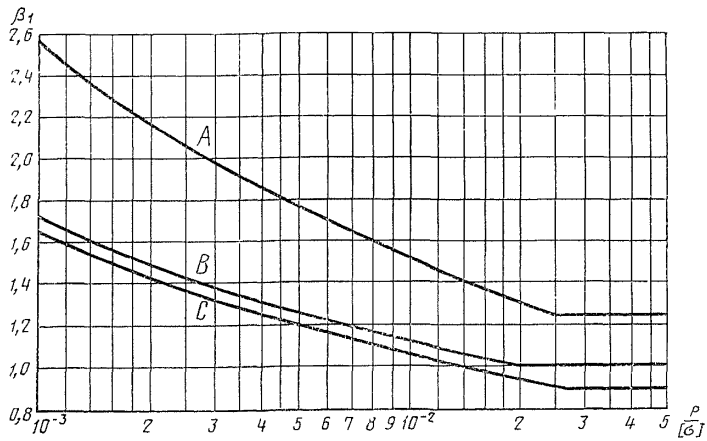
3.4.1.3. Коэффициент β_1 следует определять в соответствии с черт. 14, а коэффициент β_2 — в соответствии с черт. 15 или по формулам:

$$\text{тип A}\quad \beta_2=\max\left\{1{,}25;\ 0{,}25\left(\sqrt[3]{\frac{D_1}{s_1-c}}+1{,}0\right)\right\};$$

$$\text{тип B}\quad \beta_2=\max\left\{1{,}0;\ 0{,}12\left(\sqrt[3]{\frac{D_1}{s_1-c}}+3{,}75\right)\right\}; \qquad (67)$$

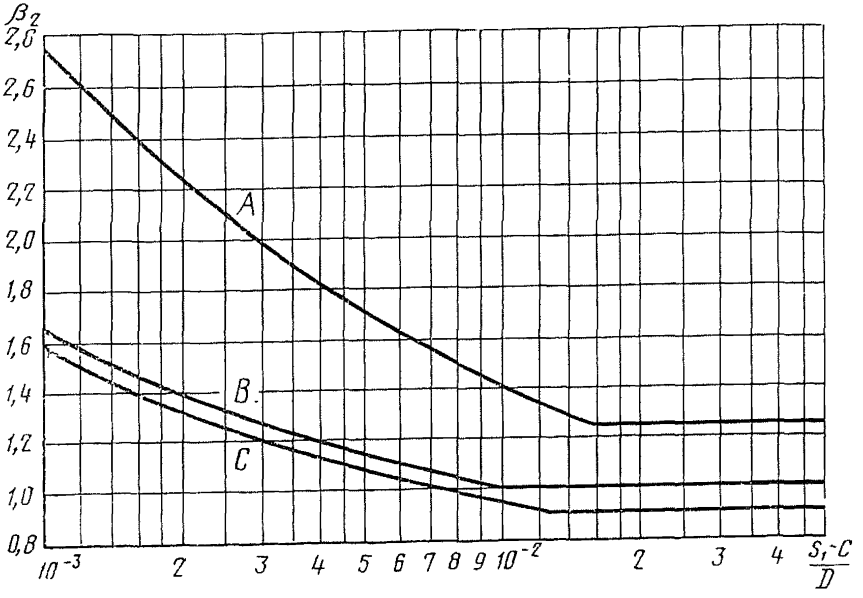
$$\text{тип C}\quad \beta_2=\max\left\{0{,}9;\ 0{,}12\left(\sqrt[3]{\frac{D_1}{s_1-c}}+3{,}2\right)\right\}.$$

График для определения коэффициента β_1



Черт. 14

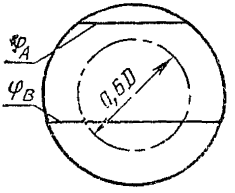
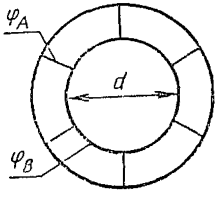
График для определения коэффициента β_2



Черт. 15

3.4.1.4. Для днищ, изготовленных из целой заготовки, коэффициент $\varphi = 1$. Для днищ, изготовленных из нескольких частей, коэффициент φ следует определять по табл. 2.

Таблица 2

Эскизы днищ	φ для формул (61), (65)	φ для формул (63), (66)
	Для шва А	
	φ_A	1
	Для шва В	
	1	φ_B
	При $\frac{d}{D} < 0{,}6$	
	1	φ_B
	При $\frac{d}{D} \geqslant 0{,}6$	
	φ_B	1

Значения коэффициентов φ_A и φ_B следует определять в соответствии с обязательным приложением 5.

3.4.1.5. Если длина цилиндрической отбортованной части днища $h_1 \geqslant 0{,}8\sqrt{D_1(s_1-c)}$, то толщина цилиндрической части днища должна быть не меньше толщины обечайки, рассчитанной в соответствии с п. 2.3.1.

3.4.2. *Торосферические днища, нагруженные наружным давлением*

3.4.2.1. Торосферические днища, нагруженные наружным давлением, следует рассчитывать в соответствии с п. 3.3.2 по формулам (56), (57) и (58) при $K_э = 1$.

Кроме того, внешнее давление не должно превышать допускаемое давление, определяемое по формуле (65).

4. ДНИЩА И КРЫШКИ ПЛОСКИЕ КРУГЛЫЕ

4.1. Условия применения расчетных формул

4.1.1. Формулы для расчета плоских круглых днищ и крышек применимы при условии

$$\frac{s_1-c}{D_R} \leqslant 0{,}1.$$

4.1.2. При $\frac{s_1-c}{D_R} > 0{,}1$ величину допускаемого давления, рассчитанного по формуле (73) или (80), следует умножить на поправочный коэффициент

$$K_p = \min\left\{1;\ \frac{2{,}2}{1+\sqrt{1+\left(6\frac{s_1-c}{D_R}\right)^2}}\right\}. \qquad (68)$$

Проверка допускаемого давления для днищ и крышек при $\frac{s_1-c}{D_R} > 0{,}1$ проводится во всех случаях.

4.2. Расчет плоских круглых днищ и крышек

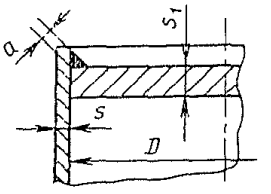
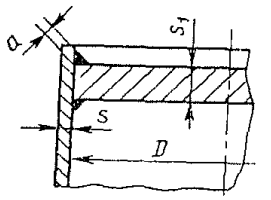
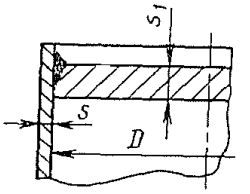
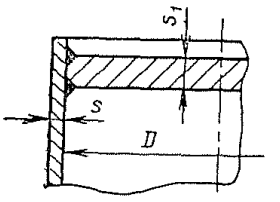
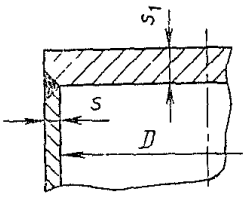
4.2.1. Толщину плоских круглых днищ и крышек сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным или наружным давлением, следует рассчитывать по формулам:

$$s_{1R} = KK_0D_R\sqrt{\frac{p}{[\sigma]\varphi}}; \qquad (69)$$

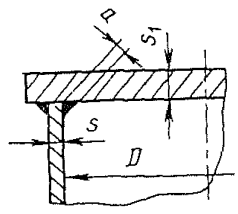
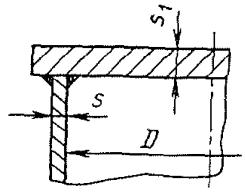
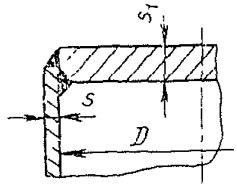
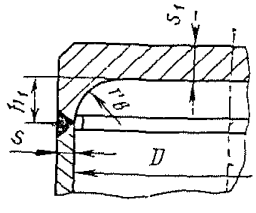
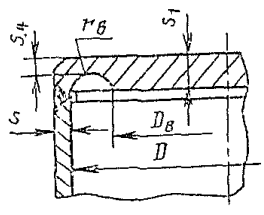
$$s_1 \geqslant s_{1R} + c. \qquad (70)$$

4.2.2. Величину коэффициента K в зависимости от конструкции днищ и крышек принимают в соответствии с табл. 3.

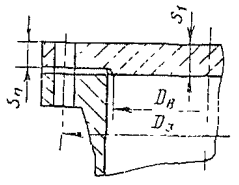
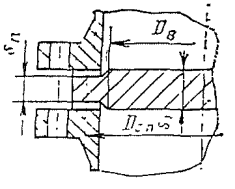
Таблица 3

Тип днища	Эскиз соединения	Условия закрепления	K
1		$a \geqslant 1,7s$ $D_R = D$	0,53
2		$a \geqslant 0,85s$ $D_R = D$	0,50
3		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geqslant 0,5$ $D_R = D$	0,45 0,41
4		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geqslant 0,5$ $D_R = D$	0,41 0,38
5		$D_R = D$	0,45

Продолжение табл. 3

Тип днища	Эскиз соединения	Условия закрепления	K
6		$a \geqslant 0{,}85s$ $D_R = D$	0,50
7		$D_R = D$	0,41
8		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geqslant 0{,}5$ $D_R = D$	0,41 0,38
9		При $h_1 \geqslant \sqrt{D(s-c)}$ $K = \max\{0{,}45(1 - 0{,}23\frac{s-c}{s_1-c});\ 0{,}35\}$; при $h_1 < \sqrt{D(s-c)}$ $K = \max\{0{,}47(1 - 0{,}23\frac{s-c}{s_1-c});\ 0{,}40\}$; $D_R = D - r_в$	
10		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geqslant 0{,}5$ $D_R = D$	0,41 0,38

Продолжение табл. 3

Тип днища	Эскиз соединения	Условия закрепления	K
11		$D_R=D_з$	0,40
12		$D_R=D_{сп}$	0,41

4.2.3. Величину коэффициента ослабления K_0 для днищ и крышек, имеющих одно отверстие, следует определять по формуле

$$K_0=\sqrt{1+\frac{d}{D_R}+\left(\frac{d}{D_R}\right)^2}. \qquad (71)$$

4.2.4. Величину коэффициента ослабления K_0 для днищ и крышек, имеющих несколько отверстий, следует определять по формуле

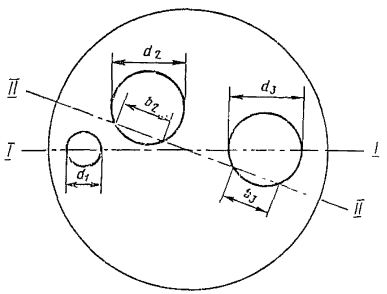
$$K_0=\sqrt{\frac{1-\Sigma\left(\frac{d_i}{D_R}\right)^3}{1-\Sigma\frac{d_i}{D_R}}}. \qquad (72)$$

Максимальная сумма длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении днища или крышки (Σd_i) определяется в соответствии с черт. 16.

4.2.5. Величина коэффициента ослабления K_0 для днищ и крышек без отверстий принимается равной 1.

4.2.6. Во всех случаях присоединения днища к обечайке минимальная толщина плоского круглого днища должна быть больше или равна толщине обечайки.

Схема для определения Σd_i



$$\Sigma d_i = \max\{(d_1+d_3);\ (b_2+b_3)\}$$

Черт. 16

4.2.7. Допускаемое давление на плоское днище или крышку следует определять по формуле

$$[p]=\left(\frac{s_1-c}{K K_0 D_R}\right)^2[\sigma]\varphi. \qquad (73)$$

4.2.8. Толщину плоской крышки для типов соединений 11 и 12 (табл. 3) в месте уплотнения ($s_п$) или толщину утоненной части (s_4) плоского днища типа 10 (табл. 3) следует определять по формуле

$$s_{п(4)} \geqslant \max\left\{(s_1-c)\sqrt{3\frac{D_R-D_в}{D_R}};\quad 0{,}5\,D_R\frac{p}{[\sigma]}\right\}+c. \qquad (74)$$

4.3. Расчет плоских круглых крышек с дополнительным краевым моментом

4.3.1. Плоские круглые крышки с дополнительным краевым моментом (черт. 17) следует рассчитывать на внутреннее давление по формулам

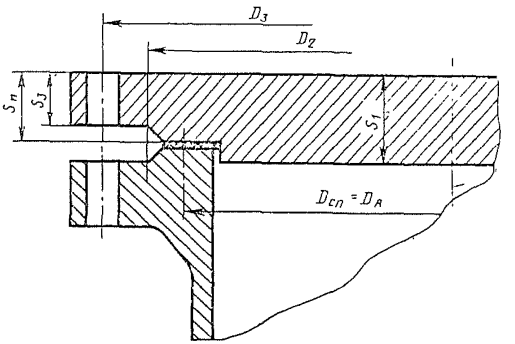
$$s_{1R}=K_0K_1D_R\sqrt{\frac{p}{[\sigma]\varphi}}; \qquad (75)$$

$$s_1 \geqslant s_{1R}+c. \qquad (76)$$

4.3.2. Величину коэффициента K_1 следует рассчитывать по формуле

$$K_1=0{,}41\sqrt{\frac{1+3\psi\left(\frac{D_3}{D_{сп}}-1\right)}{\frac{D_3}{D_{сп}}}} \qquad (77)$$

Плоская крышка с дополнительным краевым моментом



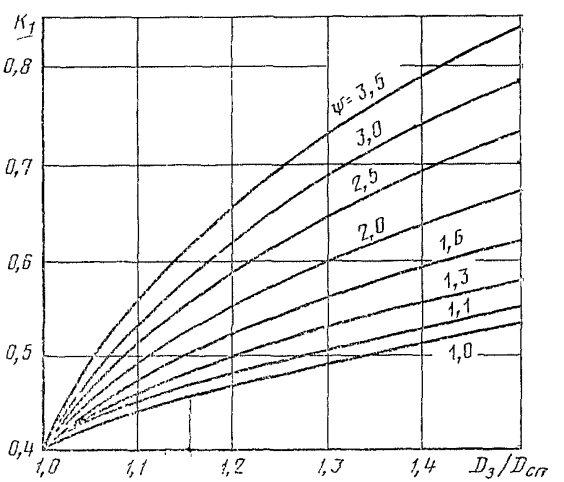
Черт. 17

или определять по графику, приведенному на черт. 18 в зависимости от отношений

$$\frac{D_з}{D_{сп}} \text{ и } \psi = 1 + \frac{R_п}{Q_D},$$

где $Q_D = 0{,}785 p D_{сп}^2$.

График для определения коэффициента K_1



Черт. 18

4.3.3. Величину коэффициента K_0 определяют по пп. 4.2.3 или 4.2.4, если $\Sigma d_i < 0{,}7D_R$; при этом отверстия для болтов в расчет не принимают.

4.3.4. Толщину плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом в месте уплотнения $s_п$ (черт. 17) следует определять по формуле

$$s_п \geqslant \max\left\{K_2\sqrt{\frac{R_B}{[\sigma]}};\ 0{,}6\frac{R_B}{[\sigma]D_{сп}}\right\}+c. \qquad (78)$$

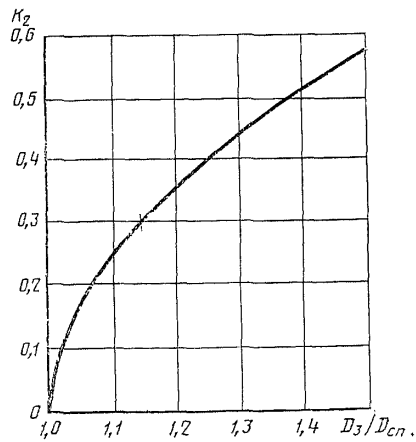
Болтовая нагрузка R_B принимается большей из двух величин, определенных из условий монтажа или рабочих условий.

4.3.5. Величину коэффициента K_2 следует рассчитывать по формуле

$$K_2 = 0{,}8\sqrt{\frac{D_3}{D_{сп}} - 1} \qquad (79)$$

или определять в соответствии с черт. 19 в зависимости от отношения $\frac{D_3}{D_{сп}}$.

График для определения коэффициента K_2



Черт. 19

4.3.6. Толщину края плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом вне зоны уплотнения s_3 (черт. 17) следует определять по формуле (78), при этом вместо $D_{сп}$ следует принять D_2.

4.3.7. Допускаемое давление для плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом при контрольных расчетах следует определять по формуле

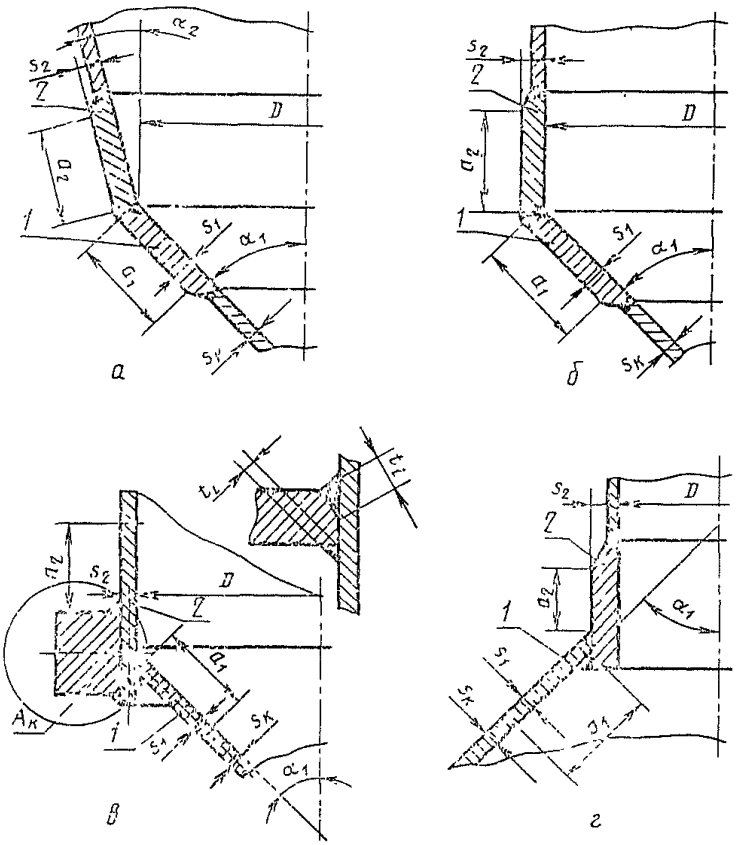
$$[p]=\left(\frac{s_1-c}{K_1K_0D_R}\right)^2[\sigma]\varphi. \qquad (80)$$

5. ОБЕЧАЙКИ КОНИЧЕСКИЕ

5.1. Расчетные схемы и расчетные параметры

5.1.1. На черт. 20—22 приведены расчетные модели узлов конических обечаек.

Соединение обечаек без тороидального перехода

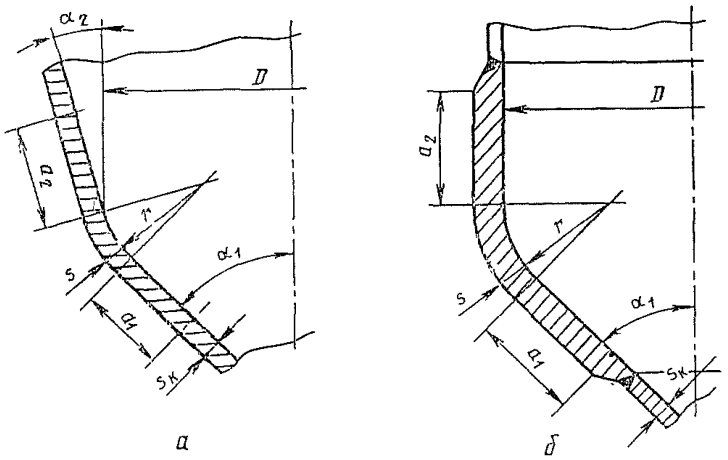


а—соединение двух конических обечаек; *б*—соединение конической и цилиндрической обечаек; *в*—соединение конической и цилиндрической обечаек с укрепляющим кольцом; *г*—соединение конической обечайки с цилиндрической по меньшему диаметру

Примечание. Черт. 20—22 не определяют конструкции конических обечаек и приведены только для указания необходимых расчетных размеров.

Черт. 20

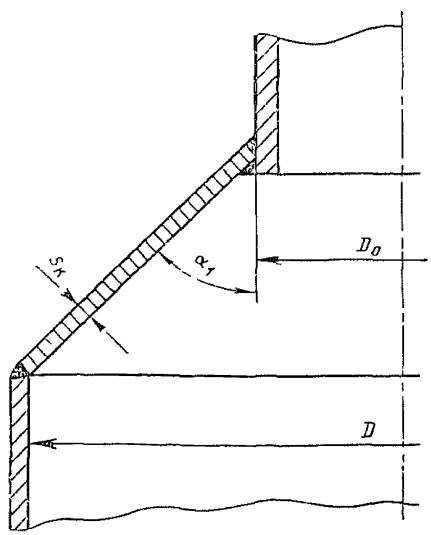
Соединение обечаек с тороидальным переходом



а—соединение двух конических обечаек; *б*—соединение конической и цилиндрической обечаек

Черт. 21

Основные размеры конического перехода



Черт. 22

5.1.2. Расчетные длины переходных частей следует определять: для конических обечаек (черт. 20*а*—20*в*) по формулам:

$$a_1 = 0{,}7\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_1}(s_1 - c)}, \quad a_2 = 0{,}7\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_2}(s_2 - c)};$$

для конической обечайки (черт. 21*а*, 21*б*) по формуле

$$a_1=0{,}7\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_1}(s_1-c)}\ ;$$

для конической обечайки (черт. 20*г*) по формуле

$$a_1=\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_1}(s_1-c)}\ ;$$

для цилиндрических обечаек (черт. 20*б*, 20*в*) по формуле

$$a_2=0{,}7\sqrt{D(s_2-c)}\ ;$$

для тороидальных переходов (черт. 21*а*, 21*б*) по формулам:

$$a_2=0{,}5\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_2}(s_т-c)}\ ,\quad a_2=0{,}5\sqrt{D(s_т-c)}\ ;$$

для цилиндрической обечайки или штуцера (черт. 20*г*) по формуле

$$a_2=1{,}25\sqrt{D(s_2-c)}\ .$$

5.1.3. Расчетный диаметр гладкой конической обечайки следует определять:

для конической обечайки без тороидального перехода (черт. 20*а*—20*в*) по формуле

$$D_к=D-1{,}4a_1\sin\alpha_1;$$

для конической обечайки с тороидальным переходом (черт. 21*а*, 21*б*) по формуле

$$D_к=D-2[r(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1)+0{,}7a_1\sin\alpha_1];$$

для конических обечаек со ступенчатым изменением толщины стенки, для второй и всех дальнейших частей, за расчетный диаметр $D_к$ данной части обечайки принимается внутренний диаметр большего основания.

5.1.4. Расчетные величины коэффициентов прочности сварных швов переходов обечаек следует определять по табл. 4.

5.2. Условия применения расчетных формул

5.2.1. Расчетные формулы применимы при отношении между толщиной стенки и диаметром в пределах

$$0{,}001\leqslant\frac{s_1\cos\alpha_1}{D}\leqslant 0{,}05.$$

Выполнение этого условия для пологого конического днища ($\alpha_1>60°$) не требуется.

5.2.2. Расчетные формулы, приведенные в пп. 5.3.2, 5.4.2 и 5.5.1, применимы при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых возникает ползучесть металлов, т. е. при температурах, когда допускаемое напряжение определяют только

по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если точных данных нет, то расчетные формулы применимы при условии, что расчетная температура стенки обечайки из углеродистой стали не превышает 380 °С, из низколегированной стали 480 °С и из аустенитной стали 525 °С.

Таблица 4

Характер нагружения	Расчет соединений обечаек, пункты настоящего стандарта			
	5.3.3 5.4.3	5.3.4 5.4.4	5.3.5 5.4.5	5.3.6 5.4.6
Внутреннее давление или растягивающая сила	$\varphi_R=\sqrt{\varphi_т}$	$\varphi_R=\sqrt{\varphi_т}$ $\varphi_{aR}=1$	$\varphi_R=\sqrt{\varphi_т}$	$\varphi_R=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$
Наружное давление или сжимающая сила	$\varphi_p=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$	$\varphi_R=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$ $\varphi_{aR}=\varphi_a$	$\varphi_R=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$	$\varphi_R=\sqrt{\varphi_т}$
Изгибающий момент	$\varphi_R=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$	$\varphi_R=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$ $\varphi_{aR}=\varphi_a$	$\varphi=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$	$\varphi_R=\min\{\varphi_p;\sqrt{\varphi_т}\}$

5.2.3. Расчетные формулы настоящего раздела не следует применять для расчета на прочность конических переходов в местах крепления рубашки к корпусу.

5.2.4. Расчетные формулы не применимы, если расстояние между двумя соседними узлами обечаек менее суммы соответствующих расчетных длин обечаек или если расстояние от узлов до опорных элементов сосуда (за исключением юбочных опор и опорных колец) менее удвоенной расчетной длины обечайки по п. 5.2.1.

5.2.5. Расчетные формулы не следует применять в тех случаях, когда в области расчетной длины находится отверстие, диаметр которого превышает толщину стенки обечайки более чем в три раза. В технически обоснованных случаях допустимо расположение отверстий в зоне расчетной длины при наличии дополнительного расчета.

5.2.6. Расчетные формулы следует применять при условии, если исполнение длины переходных частей обечаек не менее расчетных длин a_1 и a_2.

5.2.7. Расчетные формулы узлов конических и цилиндрических обечаек без тороидального перехода применимы при условии выполнения углового шва с двухсторонним сплошным проваром.

5.2.8. Исполнительная толщина стенки конического элемента в месте соединения двух обечаек s, s_1 или s_2 должна быть не менее

толщины $s_к$, определяемой по пп. 5.3.1 или 5.3.2, 5.4.1 или 5.4.2 и 5.5.1 для соответствующих нагрузок.

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки в месте соединения двух обечаек должна быть не менее минимальной толщины стенки, определяемой по разд. 2.

5.2.9. Расчет толщины стенок переходной части обечаек следует определять численно методом последовательных приближений на основании предварительного подбора и последующей проверки отношений

$$\frac{D}{s_2-c} \text{ и } \frac{s_1-c}{s_2-c}$$

либо сразу при помощи диаграмм.

За допускаемое давление, осевую силу и изгибающий момент для конической обечайки принимается наименьшее значение, полученное из условия прочности или устойчивости гладкой конической обечайки и из условия прочности переходной части.

5.3. Конические обечайки, нагруженные давлением

5.3.1. *Гладкие конические обечайки, нагруженные внутренним избыточным давлением*

5.3.1.1. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_{кR} = \frac{pD_к}{2[\sigma]\varphi_р - p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}; \quad (81)$$

$$s_к \geqslant s_{кR} + c. \quad (82)$$

5.3.1.2. Допускаемое внутреннее избыточное давление следует рассчитывать по формуле

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_р(s_к - c)}{\frac{D}{\cos \alpha_1} + (s_к - c)}. \quad (83)$$

5.3.2. *Гладкие конические обечайки, нагруженные наружным давлением*

5.3.2.1. Расчетные формулы применимы при условии

$$\alpha_1 \leqslant 75°.$$

5.3.2.2. Толщина стенки в первом приближении определяется по формулам п. 2.3.2.1 с последующей проверкой по формуле (84).

При предварительном определении толщины стенки в качестве расчетных l и D принимаются величины, определяемые по формулам (87) и (88).

5.3.2.3. Допускаемое наружное давление следует рассчитывать по формуле

$$[p] = \frac{[p]_р}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_р}{[p]_E}\right)^2}}, \quad (84)$$

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s_к - c)}{\frac{D_к}{\cos\alpha_1} + (s_к - c)}, \qquad (85)$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле

$$[p]_E = \frac{18\cdot 10^{-6} E}{n_y B_1} \frac{D_E}{l_E}\left[\frac{100(s_к - c)}{D_E}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s_к - c)}{D_E}}. \qquad (86)$$

Эффективные размеры конической обечайки следует определять по формулам:

$$l_E = \frac{D - D_0}{2\sin\alpha_1}, \qquad (87)$$

$$D_E = \max\left\{\frac{D + D_0}{2\cos\alpha_1};\ \frac{D}{\cos\alpha_1} - 0{,}31(D + D_0)\sqrt{\frac{D + D_0}{s_к - c}\operatorname{tg}\alpha_1}\right\}, \qquad (88)$$

а величину коэффициента B_1 следует определять по формуле

$$B_1 = \min\left\{1{,}0;\ 8{,}15\frac{D_E}{l_E}\sqrt{\frac{D_E}{100(s_к - c)}}\right\}. \qquad (89)$$

5.3.3. *Соединение обечаек без тороидального перехода (черт. 20а, 20б)*

5.3.3.1. Расчетные формулы применимы при условиях

$$\alpha_1 \leqslant 60°;\ 0 \leqslant \alpha_2 \leqslant \alpha_1;\ (s_1 - c) \geqslant (s_2 - c).$$

5.3.3.2. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_{2R} = \frac{pD\beta_1}{2[\sigma]_2\varphi_R - p} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_2}, \qquad (90)$$

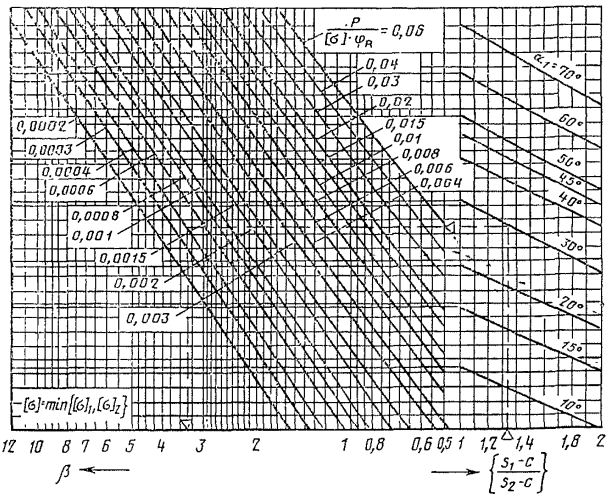
$$s_2 \geqslant s_{2R} + c. \qquad (91)$$

В случае соединения конической и цилиндрической обечаек (черт. 20б) $\cos\alpha_2 = 1$. При определении величины коэффициента β_1 коэффициент β рассчитывается по формуле (94) или определяется по диаграмме (черт. 23).

Расчет толщины стенки второго элемента перехода производится с помощью отношения толщин стенок $\frac{s_1 - c}{s_2 - c}$

$$s_1 \geqslant \left\{\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right\} s_{2R} + c. \qquad (92)$$

Диаграмма для определения коэффициента β
при расчете толщин стенок переходов обечаек



Черт. 23

5.3.3.3. Коэффициент формы β_1 следует определять из условия

$$\beta_1 = \max\{0{,}5;\ \beta\}, \qquad (93)$$

где β следует определять по формуле

$$\beta = 0{,}4\sqrt{\frac{D}{s_2-c}}\cdot\frac{\cos\alpha_2(\operatorname{tg}\alpha_1-\operatorname{tg}\alpha_2)}{\frac{1}{\sqrt{\cos\alpha_2}}+\sqrt{\frac{1+\varkappa\cdot\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)^2}{2\cos\alpha_1}}\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)}-0{,}25. \qquad (94)$$

Для соединения конической и цилиндрической обечаек ($\alpha_2=0$) коэффициент β может быть определен по диаграммам (черт. 23 и 24). В этом случае в формулах (90) и (95) в качестве допускаемого напряжения $[\sigma]_2$ принимается минимальное значение из допускаемых напряжений обеих обечаек перехода $[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$.

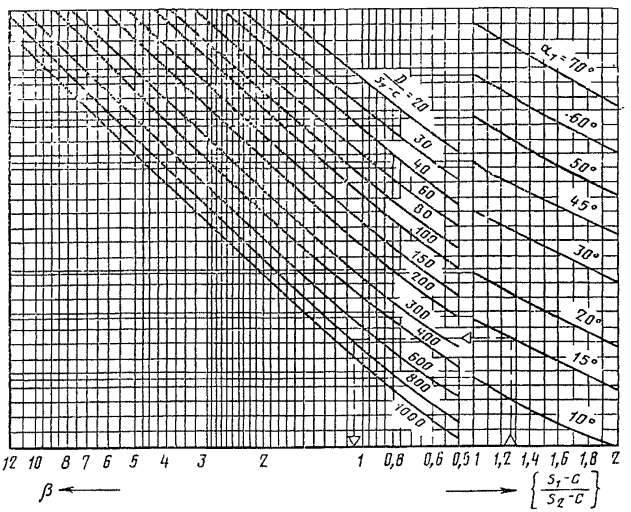
5.3.3.4. Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формуле

$$[p] = \frac{2[\sigma]_2\varphi_R(s_2-c)}{\frac{D\beta_1}{\cos\alpha_2}+(s_2-c)}, \qquad (95)$$

где коэффициент β_1 определяется по п. 5.3.3.3.

5.3.4. *Соединение конической и цилиндрической обечаек с укрепляющим кольцом (черт. 20в)*

Диаграмма для определения коэффициента β при выполнении поверочного расчета



Черт. 24

5.3.4.1. Расчетные формулы применимы при условиях

$$\alpha \leqslant 60°;\ (s_1-c) \geqslant (s_2-c).$$

5.3.4.2. Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца

$$A_к \geqslant \frac{pD^2 \operatorname{tg} \alpha_1}{8[\sigma]_к \varphi_{aR}} \left(1 - \frac{\beta_A + 0{,}25}{\beta + 0{,}25}\right). \qquad (96)$$

При $A_к \leqslant 0$ укрепление кольцом жесткости не требуется.

В случаях действия нагрузки от наружного давления или осевой сжимающей силы, или изгибающего момента сварной шов стыкового соединения кольца должен быть проварен. При определении площади поперечного сечения $A_к$ необходимо учитывать также сечение стенок обечаек, расположенное между наружными швами кольца и обечаек.

5.3.4.3. Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формуле

$$[p]=\frac{2[\sigma]_2\varphi_R(s_2-c)}{D\beta_2+(s_2-c)}. \qquad (97)$$

5.3.4.4. Коэффициенты формы β_A, β и β_2 следует определять по формулам:

коэффициент β_A:

$$\beta_A=\left(\frac{2[\sigma]_2\varphi_R}{p}-1\right)\frac{s_2-c}{D}; \qquad (98)$$

коэффициент β следует определять либо по формуле (94) либо по диаграмме (черт. 24);

общий коэффициент формы для переходной части β_2 определяется из условия

$$\beta_2=\max\{0{,}5;\ \beta_y\}, \qquad (99)$$

где
$$\beta_0=\frac{0{,}4\sqrt{\frac{D}{s_2-c}}\operatorname{tg}\alpha_1-B_3\left[1+\sqrt{1+\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)^2\frac{\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)}{2\cos\alpha_1}}\right]}{B_2+\left[1+\sqrt{1+\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)^2\frac{\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)}{2\cos\alpha_1}}\right]}. \qquad (100)$$

Коэффициенты B_2 и B_3 в формуле (100) равняются

$$B_2=\frac{1{,}6A_к}{(s_2-c)\sqrt{D(s_2-c)}}\cdot\frac{[\sigma]_к\varphi_{3R}}{[\sigma]_2\varphi_R};$$

$$B_3=0{,}25$$

5.3.4.5. Проверка прочности сварного шва укрепляющего кольца

$$\Sigma t_i\geqslant\frac{4A_к}{D}, \qquad (101)$$

где Σt_i — сумма всех эффективных ширин несущих сварных швов между укрепляющим кольцом и обечайкой (черт. 20*в*).

У прерывистого сварного шва действительная его ширина уменьшается в отношении длин сваренного шва и всего периметра обечайки. Расстояние между концами прерывистых сварных швов должно быть не более восьми толщин стенки обечайки и сумма всех длин сварных швов не менее половины длины контура кольца.

5.3.5. *Соединение обечаек с тороидальным переходом (черт. 21а, 21б).*

5.3.5.1. Расчетные формулы применимы при выполнении следующих условий

$$\alpha_1 \leqslant 70°;\ 0 < \alpha_2 < \alpha_1;\ 0 < \frac{r}{D} \leqslant 0{,}3.$$

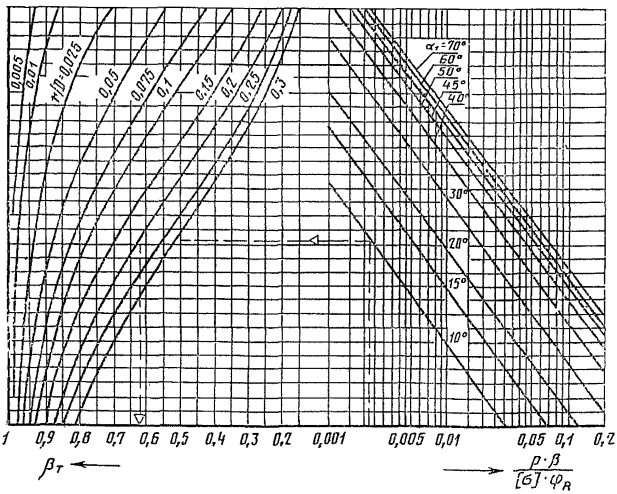
5.3.5.2. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_R = \frac{pD\beta_3}{2[\sigma]\varphi_R - p} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_2}, \qquad (102)$$

$$s_T \geqslant s_R + c. \qquad (103)$$

В случае соединения конической и цилиндрической обечаек (черт. 21*б*) $\cos\alpha_2 = 1$. Коэффициенты β_3; β и β_T определяются по формулам (105), (94) и (106) или по диаграммам, приведенным на черт. 23 и 25.

Диаграмма для определения коэффициента β_T при расчете толщин стенок переходов обечаек



Черт. 25

5.3.5.3. Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части следует рассчитынять по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_R(s_T - c)}{\frac{D\beta_3}{\cos\alpha_2} + (s_T - c)}. \qquad (104)$$

5.3.5.4. Коэффициенты формы β_3 и $\beta_т$ следует определять по формулам:

коэффициент β_3:

$$\beta_3 = \max\{0{,}5;\ \beta\,\beta_т\}, \tag{105}$$

где β определяется по формуле (94) при

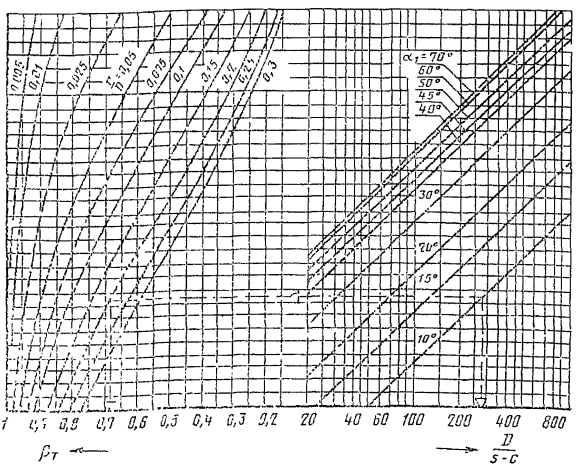
$$\varkappa = 1 \text{ и } \left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right) = 1;$$

коэффициент $\beta_т$:

$$\beta_т = \frac{1}{1 + \dfrac{0{,}028\,\dfrac{r}{D}\sqrt{\dfrac{D}{s_т - c}}\,(\alpha_1 - \alpha_2)}{\dfrac{1}{\sqrt{\cos\alpha_2}} + \dfrac{1}{\sqrt{\cos\alpha_1}}}}. \tag{106}$$

Коэффициенты β_3, β и $\beta_т$ допускается определять по диаграммам, приведенным на черт. 24 и 26.

Диаграмма для определения коэффициента $\beta_т$ при выполнении поверочного расчета



Черт. 26

5.3.6. *Соединение штуцера или цилиндрической обечайки с конической обечайкой по меньшему диаметру (черт. 20 г)*

5.3.6.1. Расчетные формулы применимы при выполнении условия

$$\alpha_1 \leqslant 60°.$$

5.3.6.2. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_{2R} = \frac{pD\beta_4}{2[\sigma]_2\varphi_R - p}, \qquad (107)$$

$$s_2 \geqslant s_{2R} + c. \qquad (108)$$

Расчет толщины стенки конического элемента переходной части следует производить с помощью отношения толщин стенок $\frac{s_1-c}{s_2-c}$.

$$s_1 \geqslant \left\{\frac{s_1-c}{s_2-c}\right\} s_{2R} + c. \qquad (109)$$

5.3.6.3. Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формуле

$$[p] = \frac{2[\sigma]_2\varphi_R(s_2-c)}{D\beta_4 + (s_2-c)}. \qquad (110)$$

5.3.6.4. Коэффициент формы β_4 следует определять из условия

$$\beta_4 = \max\{1;\ \beta_н\}. \qquad (111)$$

Коэффициент $\beta_н$ следует рассчитывать по формулам:

если $$\varkappa\left\{\frac{s_1-c}{s_2-c}\right\}^2 \geqslant 1, \text{ то } \beta_н = \beta + 0{,}75, \qquad (112)$$

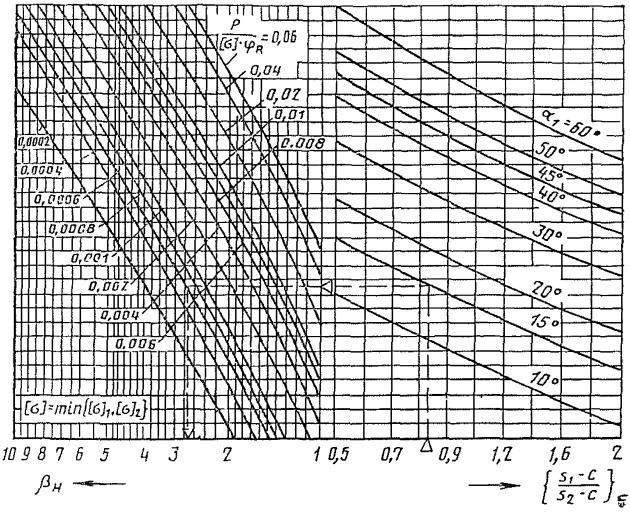
если $\varkappa\left\{\frac{s_1-c}{s_2-c}\right\}^2 < 1$, то

$$\beta_н = 0{,}4\sqrt{\frac{D}{s_2-c}}\,\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)\sqrt{\frac{s_1-c}{(s_2-c)\cos\alpha_1}} + \sqrt{\frac{1+\varkappa\left(\frac{s_1-c}{s_2-c}\right)^2}{2}}} + \qquad (113)$$

$$+0{,}5\ .$$

Коэффициент $\beta_н$ допускается в обоих случаях определять также по диаграммам, приведенным на черт. 27 и 28. В этом случае в формулах (107) и (110) в качестве допускаемого напряжения $[\sigma]_2$ следует принимать минимальное из значений допускаемых напряжений для обеих обечаек перехода $[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$.

Диаграмма для определения коэффициента $\beta_н$ при расчете толщин стенок переходов обечаек



Черт. 27

5.3.7. *Пологое коническое днище ($\alpha>70°$) с тороидальным переходом (черт. 21б)*

5.3.7.1. Расчетные формулы в случае действия внутреннего избыточного давления применимы при выполнении следующего условия

$$\alpha_1>70°.$$

5.3.7.2. Толщина стенки принимается как меньшее из значений

$$s_R=0{,}3(D-r)\frac{\alpha_1}{90}\sqrt{\frac{p}{[\sigma]\varphi_p}} \qquad (114)$$

$$s_т'\geqslant s_R+c \qquad (115)$$

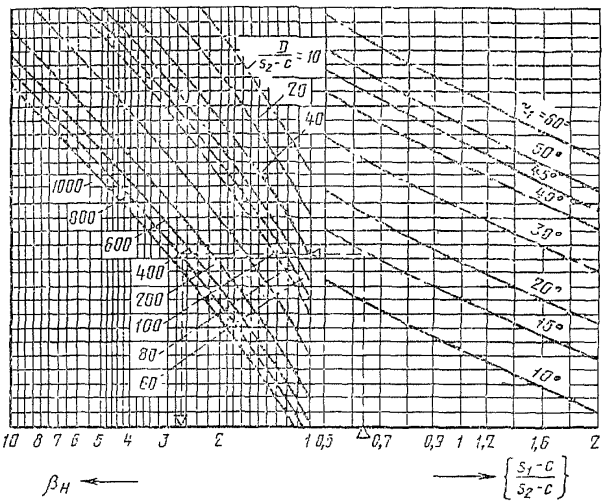
и значения $s_т'=\max\{s_к;\ s_т\}$, где $s_к$ определяется по п. 5.3.1, а $s_т$ определяется по п. 5.3.5.

5.3.7.3. Допускаемое внутреннее избыточное давление принимается как большее из двух следующих значений:

$$[p]=[\sigma]\varphi_p\left[\frac{(s_т'-c)}{0{,}3(D-r)}\frac{90}{\alpha_1}\right]^2 \qquad (116)$$

и меньшего из значений $[p]$, определяемых по формулам (83), (104)

Диаграмма для определения коэффициента $\beta_н$ при выполнении поверочного расчета



Черт. 28

5.3.8. *Пологое коническое днище с укрепляющим кольцом (черт. 20в)*

5.3.8.1. Расчетные формулы применимы в случае действия внутреннего избыточного давления при выполнении следующих условий

$$\alpha_1 > 60^\circ;\ s_1 = s_к.$$

5.3.8.2. Толщину стенки конического днища следует определять по формулам п. 5.3.1.1 при $D_к = D$.

5.3.8.3. Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца следует определять по формулам п. 5.3.4.2, при этом для определения β следует принять $(s_1 - c) = 0$.

5.3.8.4. Допускаемое внутреннее избыточное давление для конического днища следует определять по формуле (83) при $D_к = D$, а для укрепляющего кольца — по формуле (97); при этом для определения β_2 следует принять $(s_1 - c) = 0$. Расчет применим при соблюдении требований п. 5.3.4.5.

5.3.8.5. Допускается применение пологого конического днища без тороидального перехода и без укрепляющего кольца. Толщина стенки днища в этом случае определяется по формулам (114) и (115) и поверочный расчет проводится по формуле (116) при $r = 0$.

5.4. Конические обечайки, нагруженные осевыми усилиями

5.4.1. *Гладкие конические обечайки, нагруженные осевой растягивающей силой*

5.4.1.1. Толщину стенки следует рассчитывать по формулам:

$$s_{кR}=\frac{F}{\pi D_1 \varphi_т [\sigma]}\,\frac{1}{\cos\alpha_1}, \qquad (117)$$

$$s_к \geqslant s_{кR}+c. \qquad (118)$$

5.4.1.2. Допускаемую растягивающую силу следует рассчитывать по формуле

$$[F]=\pi D_1 (s_к-c)[\sigma]\varphi_т \cos\alpha_1. \qquad (119)$$

5.4.2. *Гладкие конические обечайки, нагруженные осевой сжимающей силой*

5.4.2.1. Расчетные формулы применимы при выполнении следующего условия

$$\alpha_1 \leqslant 60°.$$

5.4.2.2. Допускаемую осевую сжимающую силу следует рассчитывать по формуле

$$[F]=\frac{[F]_р}{\sqrt{1+\left(\frac{[F]_р}{[F]_E}\right)^2}}, \qquad (120)$$

где допускаемая осевая сила из условия прочности определяется по формуле

$$[F]_р=\pi D_F (s_к-c)[\sigma]\cos\alpha_1, \qquad (121)$$

а допускаемая осевая сила из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле

$$[F]_E=\frac{310\cdot 10^{-6}E}{n_у}D_F^2\left[\frac{100(s_к-c)}{D_F}\right]^2\sqrt{\frac{100(s_к-c)}{D_F}}\cos^2\alpha_1; \qquad (122)$$

$$D_F=\frac{0{,}9D+0{,}1D_0}{\cos\alpha_1}. \qquad (123)$$

5.4.3. *Соединение обечаек без тороидального перехода (черт. 20а, 20б)*

5.4.3.1. Расчетные формулы применимы при выполнении требований п. 5.3.3.1.

5.4.3.2. Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу из условия прочности переходной части следует определять по формуле

$$[F]=\pi D\frac{(s_2-c)[\sigma]_2\varphi_R\cos\alpha_2}{\beta_5}, \qquad (124)$$

где коэффициент формы β_5 определяется из условия:

$$\beta_5=\max\{1{,}0;(2\beta+1{,}2)\}. \qquad (125)$$

Коэффициент β определяется по формуле (94) или по диаграмме, приведенной на черт. 24.

5.4.4. *Соединение конической и цилиндрической обечаек с укрепляющим кольцом (черт. 20в)*

5.4.4.1. Расчетные формулы применимы при выполнении требований п. 5.3.4.1.

5.4.4.2. Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формуле

$$[F]=\pi D\frac{(s_2-c)[\sigma]_2\varphi_R}{\beta_6}, \qquad (126)$$

где коэффициент β_6 определяется из условия

$$\beta_6=\max\{1,0;\ 2\beta_0\}. \qquad (127)$$

Коэффициент β_0 следует определять по формуле (100), в которой следует принять $B_3=-0,35$.

5.4.4.3. Проверка сварного шва укрепляющего кольца должна выполняться по п. 5.3.4.5.

5.4.5. *Соединение обечаек с тороидальным переходом (черт. 21а, 21б)*

5.4.5.1. Расчетные формулы применимы при выполнении требований п. 5.3.5.1.

5.4.5.2. Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формулам:

$$[F]=\pi D\frac{(s-c)[\sigma]\varphi_R\cos\alpha_2}{\beta_7}, \qquad (128)$$

где $$\beta_7=\max\{1,0;\ \beta_т(2\beta+1,2)\}. \qquad (129)$$

Коэффициенты β и $\beta_т$ определяются по формулам (94) и (106) или по диаграммам, приведенным на черт. 24 и 26.

5.4.6. *Соединение штуцера или цилиндрической обечайки с конической обечайкой по меньшему диаметру (черт. 20г)*

5.4.6.1. Расчетные формулы применимы при выполнении требований п. 5.3.6.1.

5.4.6.2. Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формулам:

$$[F]=\pi D\frac{(s_2-c)[\sigma]_2\varphi_R}{\beta_8}, \qquad (130)$$

где $$\beta_8=\max\{1;(2\beta_н-1,0)\}. \qquad (131)$$

Коэффициент формы $\beta_н$ определяется по формулам (112) или (113), либо по диаграмме, приведенной на черт. 28.

5.5. Конические обечайки, нагруженные изгибающим моментом

5.5.1. *Гладкие конические обечайки*

5.5.1.1. Допускаемый изгибающий момент следует определять из условий:

из условия прочности:

$$[M]=\frac{D_R}{4}[F], \tag{132}$$

где расчетный диаметр $D_R=D_к$ (п. 5.1.3) или D_0 для конического перехода (черт. 22);

из условия устойчивости (п. 5.6.2.1):

$$[M]=\frac{[M]_p}{\sqrt{1+\left(\frac{[M]_p}{[M]_E}\right)^2}}, \tag{133}$$

где допускаемый изгибающий момент из условия прочности следует рассчитывать по формуле (134), а допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле (135)

$$[M]_p=\frac{D_F}{4}[F]_p, \tag{134}$$

$$[M]_E=\frac{D_F}{3{,}5}[F]_E. \tag{135}$$

В формулах (134) и (135) D_F следует определять по формуле (123).

Допускаемые осевые усилия определяются:

$[F]$ — по п. 5.4.1.2;

$[F]_p$ и $[F]_E$ — по п. 5.4.2.2.

5.5.2. *Соединения обечаек (конический переход)*

5.5.2.1. Допускаемый изгибающий момент из условия прочности переходной части следует рассчитывать по формуле

$$[M]=\frac{D}{4}[F], \tag{136}$$

где допускаемая осевая сила определяется по формулам (120), (126), (128) и (130).

5.6. Сочетания нагрузок

5.6.1. *Условия применения формул*

Если коническая обечайка нагружена давлением, осевой силой и изгибающим моментом и сумма эквивалентных давлений от добавочных нагрузок, определяемых по формулам

$$p_F=\frac{4F}{\pi D_R^2}; \qquad p_M=\frac{16M}{\pi D_R^3}, \tag{137}$$

составляет для соответствующего расчетного диаметра менее 10 % от рабочего давления, то коническая обечайка рассчитывается только на действие давления.

5.6.2. *Совместное действие нагрузок*

При проверке прочности или устойчивости при совместном действии нагрузок в формулах настоящего пункта p — следует принимать со знаком минус в случае действия наружного давления, а F — со знаком минус в случае действия осевой сжимающей силы. Изгибающий момент M всегда принимается со знаком плюс.

5.6.2.1. Гладкие конические обечайки.

В случае действия наружного давления условие устойчивости необходимо проверить по формуле

$$-\frac{p}{[p]}-\frac{F}{[F]}+\frac{M}{[M]}\leqslant 1. \qquad (138)$$

Кроме того, должна быть выполнена проверка устойчивости от отдельных нагрузок

$$|p|\leqslant[p],\ |F|\leqslant[F],\ |M|\leqslant[M]. \qquad (139)$$

Допускаемые нагрузки $[p]$, $[F]$, $[M]$ определяются по формулам (84), (120), (133). Проверку следует проводить, если не выполнено требование п. 5.6.1 хотя бы для одного из расчетных диаметров конической обечайки.

В случае действия внутреннего давления в формуле (138) следует принять $p=0$.

5.6.2.2. Переходные части конических обечаек.

Кроме проверки условий прочности от отдельных нагрузок по формулам (139), необходимо проверить выполнение условия

$$\left|\frac{p}{[p]}+\frac{F}{[F]}\right|+\frac{M}{[M]}\leqslant 1, \qquad (140)$$

где $[p]$, $[F]$, $[M]$ — допускаемые нагрузки для переходной части обечайки. Проверку следует проводить, если не выполнено требование п. 5.6.1 при $D_R=D$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Обязательное

Допускаемые напряжения для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок			
	ВСт3	20 и 20К	09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1	10Г2
20	140 (1400)	147 (1470)	183 (1830)	180 (1800)
100	134 (1340)	142 (1420)	160 (1600)	160 (1600)
150	131 (1310)	139 (1390)	154 (1540)	154 (1540)
200	126 (1260)	136 (1360)	148 (1480)	148 (1480)
250	120 (1200)	132 (1320)	145 (1450)	145 (1450)
300	108 (1080)	119 (1190)	134 (1340)	134 (1340)
350	98 (980)	106 (1060)	123 (1230)	123 (1230)
375	93 (930)	98 (980)	116 (1160)	109 (1080)
400	85 (850)	92 (920)	105 (1050)	92 (920)
410	81 (810)	86 (860)	104 (1040)	86 (860)
420	75 (750)	80 (800)	92 (920)	80 (800)
430	71* (710)	75 (750)	86 (860)	75 (750)
440	—	67 (670)	78 (780)	67 (670)
450	—	61 (610)	71 (710)	61 (610)
460	—	55 (550)	64 (640)	55 (550)
470	—	49 (490)	56 (560)	49 (490)
480	—	46** (460)	53 (530)	46 (460)**

* Для расчетной температуры стенки 425 °С.
** Для расчетной температуры стенки 475 °С.

Примечания:

1. При расчетных температурах ниже 20 °С, допускаемые напряжения принимаются такими же, как и при температуре 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.

2. Для промежуточных значений расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяется линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,5 МПа (5 кгс/см²) в сторону меньшего значения.

3. Для стали марки 20 с $\sigma_т^{20} < 220$ МПа (2200 кгс/см²) допускаемые напряжения, указанные в настоящем приложении, умножаются на отношение $\frac{\sigma_т^{20}}{220}\left(\frac{\sigma_т^{20}}{2200}\right)$.

4. Для стали марки 10Г2 с $\sigma_{0,2}^{20} < 280$ МПа (2800 кгс/см²) допускаемые напряжения, указанные в настоящем приложении, умножаются на отношение $\frac{\sigma_{0,2}^{20}}{280}\left(\frac{\sigma_{0,2}^{20}}{2800}\right)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

Допускаемое напряжение для теплоустойчивых и коррозионно-стойких хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок				
	12ХМ	12МХ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	147 (1470)	147 (1470)	155 (1550)	146 (1460)	240 (2400)
100	—	—	—	141 (1410)	235 (2350)
150	—	—	—	138 (1380)	230 (2300)
200	145 (1450)	145 (1450)	152 (1520)	134 (1340)	225 (2250)
250	145 (1450)	145 (1450)	152 (1520)	127 (1270)	220 (2200)
300	141 (1410)	141 (1410)	147 (1470)	120 (1200)	210 (2100)
350	137 (1370)	137 (1370)	142 (1420)	114 (1140)	200 (2000)
375	135 (1350)	135 (1350)	140 (1400)	110 (1100)	180 (1800)
400	132 (1320)	132 (1320)	137 (1370)	105 (1050)	170 (1700)
410	130 (1300)	130 (1300)	136 (1360)	103 (1030)	160 (1600)
420	129 (1290)	129 (1290)	135 (1350)	101 (1010)	150 (1500)
430	127 (1270)	127 (1270)	134 (1340)	99 (990)	140 (1400)
440	126 (1260)	126 (1260)	132 (1320)	96 (960)	135 (1350)
450	124 (1240)	124 (1240)	131 (1310)	94 (940)	130 (1300)
460	122 (1220)	122 (1220)	127 (1270)	91 (910)	126 (1260)
470	117 (1170)	117 (1170)	122 (1220)	89 (890)	122 (1220)
480	114 (1140)	114 (1140)	117 (1170)	86 (860)	118 (1180)
490	105 (1050)	105 (1050)	107 (1070)	83 (830)	114 (1140)
500	96 (960)	96 (960)	99 (990)	79 (790)	108 (1080)
510	82 (820)	82 (820)	84 (840)	72 (720)	97 (970)
520	69 (690)	69 (690)	74 (740)	66 (660)	85 (850)
530	60 (600)	57 (570)	67 (670)	60 (600)	72 (720)
540	50 (500)	47 (470)	57 (570)	54 (540)	58 (580)
550	41 (410)	—	49 (490)	47 (470)	52 (520)
560	33 (330)	—	41 (410)	40 (400)	45 (450)
570	—	—	—	35 (350)	40 (400)
580	—	—	—	30 (300)	34 (340)
590	—	—	—	28 (280)	30 (300)
600	—	—	—	25 (250)	25 (250)

Примечания:

1. При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимаются такими же, как и при температуре 20 °С в том случае, если допустимо применение материала при данной температуре.

2. Для промежуточных значений расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяется линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,5 МПа (5 кгс/см²) в сторону меньшего значения.

3. При расчетных температурах ниже 200 °С сталь марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ применять не рекомендуется.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

Допускаемое напряжение для жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких аустенитных сталей

Таблица 1

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок				
	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х16Н15М3	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	240 (2400)	180 (1800)	160 (1600)	153 (1530)	147 (1470)
100	207 (2070)	173 (1730)	133 (1330)	140 (1400)	138 (1380)
150	200 (2000)	171 (1710)	125 (1250)	130 (1300)	130 (1300)
200	193 (1930)	171 (1710)	120 (1200)	120 (1200)	124 (1240)
250	173 (1730)	167 (1670)	115 (1150)	113 (1130)	117 (1170)
300	167 (1670)	149 (1490)	112 (1120)	103 (1030)	110 (1100)
350	—	143 (1430)	102 (1080)	101 (1010)	107 (1070)
375	—	141 (1410)	107 (1070)	90 (900)	105 (1050)
400	—	140 (1400)	107 (1070)	87 (870)	103 (1030)
410	—	—	107 (1070)	83 (830)	—
420	—	—	107 (1070)	82 (820)	—
430	—	—	107 (1070)	81 (810)	—
440	—	—	107 (1070)	81 (810)	—
450	—	—	107 (1070)	80 (800)	—

Таблица 2

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок	
	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т
20	140 (1400)	160 (1600)
100	130 (1300)	152 (1520)
150	120 (1200)	146 (1460)
200	115 (1150)	140 (1400)
250	110 (1100)	136 (1360)
300	100 (1000)	130 (1300)
350	91 (910)	126 (1260)
375	89 (890)	124 (1240)
400	86 (860)	121 (1210)
410	86 (860)	120 (1200)
420	85 (850)	120 (1200)
430	85 (850)	119 (1190)
440	84 (840)	118 (1180)
450	84 (840)	117 (1170)
460	83 (830)	116 (1160)
470	83 (830)	115 (1150)
480	82 (820)	115 (1150)

Продолжение табл. 2

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок	
	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т
490	82 (820)	114 (1140)
500	81 (810)	113 (1130)
510	80 (800)	112 (1120)
520	79 (790)	112 (1120)
530	79 (790)	111 (1110)
540	78 (780)	111 (1110)
550	76 (760)	111 (1110)
560	73 (730)	101 (1010)
570	69 (690)	97 (970)
580	65 (650)	90 (900)
590	61 (610)	81 (810)
600	57 (570)	74 (740)
610	—	68 (680)
620	—	62 (620)
630	—	57 (570)
640	—	52 (520)
650	—	48 (480)
660	—	45 (450)
670	—	42 (420)
680	—	38 (380)
690	—	34 (340)
700	—	30 (300)

Примечания к табл. 1 и 2:

1. При значениях расчетных температур ниже 20 °С допускаемые напряжения принимаются такими же, как и при температуре 20 °С при условии, если допустимо применение материала при данной температуре.

2. Для промежуточных значений расчетных температур стенки величина допускаемого напряжения определяется интерполяцией двух ближайших значений, приведенных в настоящем приложении, с округлением результатов до 0,5 МПа (5 кгс/см²) в сторону меньшего значения.

3. Стали марок 10Х17Н13М3Т, 12Х18Н10Т и 12Х18Н12Т при расчетных температурах свыше 600 °С применять не следует.

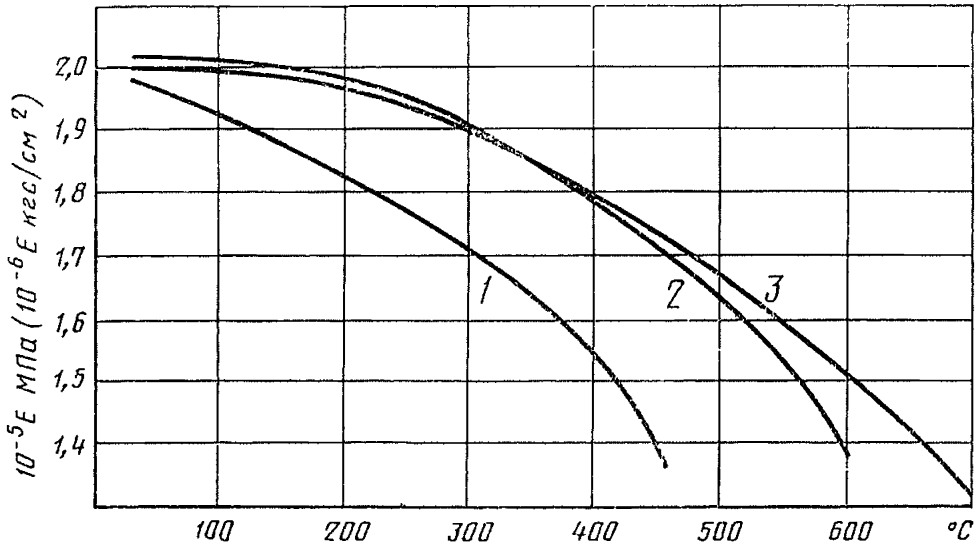
4. Для сталей марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т и 10Х17Н13М3Т с $\sigma^{20}_{0,2}$ <240 МПа (2400 кгс/см²) допускаемые напряжения, указанные в настоящем приложении при температурах до 550 °С, умножаются на отношение $\frac{\sigma^{20}_{0,2}}{240}\left(\frac{\sigma^{20}_{0,2}}{2400}\right)$.

5. Для сталей марок 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т с $\sigma^{20}_{0,2}$ <210 МПа (2100 кгс/см²) допускаемые напряжения, указанные в настоящем приложении, умножаются на отношение $\frac{\sigma^{20}_{0,2}}{210}\left(\frac{\sigma^{20}_{0,2}}{2100}\right)$.

б) Для сталей марок 08Х22Н6Т и 08Х21Н6М2Т допускаемые напряжения, приведенные в табл. 1 настоящего приложения, умножаются на 0,96. При $\sigma^{20}_{0,2} < 350$ МПа (3500 кгс/см²) допускаемые напряжения умножаются на $0,96\frac{\sigma^{20}_{0,2}}{350}\left(0,96\frac{\sigma^{20}_{0,2}}{3500}\right)$. Для стали 03Х21Н21М4ГБ допускаемые напряжения умножаются на 0,93; для стали 03Х18Н11 — на 0,83; для стали 03Х16Н15М3 — на 0,87.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Обязательное

Расчетные значения модуля продольной упругости



1—углеродистые и низколегированные стали; *2*—теплоустойчивые и коррозионно-стойкие хромистые стали; *3*—жаропрочные, жаростойкие и коррозионно-стойкие аустенитные стали

Стали	Модуль продольной упругости $10^{-5}E$ МПа ($10^{-6}E$ кгс/см²) при температуре, °С													
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Углеродистые и низколегированные стали	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40	—	—	—	—	—
Жаропрочные и жаростойкие аустенитные стали	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85	1,80	1,74	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32
Теплоустойчивые и коррозионно-стойкие хромистые стали	2,15	2,15	2,05	1,98	1,95	1,90	1,84	1,78	1,71	1,63	1,54	1,40	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Обязательное

Коэффициенты прочности сварных швов

Вид сварного шва	Значение коэффициентов прочности сварных швов	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 до 50%*
Стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой	1,0	0,9
Стыковой с подваркой корня шва или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый вручную	1,0	0,9
Стыковой, доступный сварке только с одной стороны и имеющий в процессе сварки металлическую подкладку со стороны корня шва, прилегающую по всей длине шва к основному металлу	0,9	0,8
Втавр, с конструктивным зазором свариваемых деталей	0,8	0,65
Стыковой, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой или керамической подкладкой	0,9	0,8
Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны	0,9	0,65

* Объем контроля определяется техническими требованиями на изготовление и правилами Госгортехнадзора СССР.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Справочное

ТЕРМИНЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В СТАНДАРТЕ, И ИХ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Термин	Условное обозначение
Площадь поперечного сечения кольца жесткости, мм^2 (см^2)	$A_к$
Расчетные длины переходных частей обечаек, мм (см)	a_1, a_2
Безразмерные коэффициенты	B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7
Расстояние между двумя смежными кольцами жесткости, мм (см)	b
Длины хорд отверстий в днищах, мм (см)	b_i (i=1, 2, 3...n)
Сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм (см)	c
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм (см)	c_1
Прибавка для компенсации минусового допуска, мм (см)	c_2
Прибавка технологическая, мм (см)	c_3
Внутренний диаметр сосуда или аппарата, мм (см)	D
Внешний диаметр окружности днища или крышки толщиной s_1, мм (см)	$D_в$
Средний диаметр прокладки, мм (см)	$D_{сп}$
Эффективный диаметр конической обечайки при внешнем давлении, мм (см)	D_E
Эффективный диаметр конической обечайки при осевом сжатии и изгибе, мм (см)	D_F
Расчетный диаметр гладкой конической обечайки, мм (см)	$D_к$
Диаметр меньшего основания конической обечайки, мм (см)	D_0
Расчетный диаметр днища (крышки) и конической обечайки, мм (см)	D_R
Наружный диаметр сосуда или аппарата, мм (см)	D_1
Наименьший диаметр наружной утоненной части крышки, мм (см)	D_2
Диаметр болтовой окружности, мм (см)	D_3
Диаметр отверстия в днище или крышке, мм (см)	d
Диаметр отверстий в днищах, мм (см)	d_i (i=1, 2, 3...n)
Максимальная сумма длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении днища или крышки, мм (см)	Σd_i
Модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа (кгс/см^2)	E
Расстояние между центром тяжести поперечного сечения кольца жесткости и срединной поверхностью обечайки, мм (см)	e
Расчетное осевое растягивающее или сжимающее усилие (без учета нагрузки, возникающей от внутреннего избыточного или наружного давления), Н (кгс)	F
Допускаемое растягивающее или сжимающее усилие, Н (кгс)	$[F]$

Термин	Условное обозначение
Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости в пределах упругости, Н (кгс)	$[F]_E$
Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности при $\varphi=1$, Н (кгс)	$[F]_p$
Допускаемое осевое сжимающее усилие, определяемое из условия местной устойчивости в пределах упругости, Н (кгс)	$[F]_{E_1}$
Допускаемое осевое сжимающее усилие, определяемое из условия общей устойчивости в пределах упругости, Н (кгс)	$[F]_{E_2}$
Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части, мм (см)	H
Длина цилиндрической части отбортовки днищ, мм (см)	h_1
Высота сечения кольца жесткости, измеряемая от срединной поверхности обечайки, мм (см)	h_2
Эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости, мм^4 (см^4)	I
Момент инерции поперечного сечения кольца жесткости относительно оси, проходящей через центр тяжести поперечного сечения кольца (относительно оси X—X), мм^4 (см^4)	$I_к$
Расчетный эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости, мм^4 (см^4)	$I_р$
Коэффициент конструкции плоских днищ и крышек	K
Безразмерные коэффициенты	K_1, K_2, K_3, K_4, K_5
Коэффициент жесткости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости	k
Коэффициент ослабления плоских днищ (крышек) отверстием	K_0
Поправочный коэффициент	$K_р$
Коэффициент приведения радиуса кривизны эллиптического днища	$K_э$
Расчетная длина цилиндрической обечайки, укрепленной кольцами жесткости, мм (см)	L
Расчетная длина гладкой обечайки, мм (см)	l
Эффективная длина конической обечайки, мм (см)	l_E
Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции, мм (см)	l_e
Приведенная длина, мм (см)	$l_{пр}$
Расстояние между двумя кольцами жесткости по осям, проходящим через центр тяжести поперечного сечения колец жесткости, мм (см)	l_1
Расстояние между крайними кольцами жесткости и следующими эффективными элементами жесткости, мм (см)	l_2
Длина примыкающего элемента, учитываемая при определении расчетной длины l или L, мм (см)	l_3
Расчетный изгибающий момент, Н·мм (кгс·см)	M
Допускаемый изгибающий момент, Н·мм (кгс·см)	$[M]$
Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости, Н·мм (кгс·см)	$[M]_E$
Допускаемый изгибающий момент из условия прочности при $\varphi=1$, Н·мм (кгс·см)	$[M]_p$

Термин	Условное обозначение
Коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению (пределу прочности)	$n_в$
Коэффициент запаса прочности по пределу длительной прочности	$n_д$
Коэффициент запаса прочности по пределу ползучести	$n_г$
Коэффициент запаса прочности по пределу текучести	$n_т$
Коэффициент запаса устойчивости	$n_у$
Расчетное внутреннее избыточное или наружное давление, МПа (кгс/см²)	p
Эквивалентное давление при нагружении осевым усилием, МПа (кгс/см²)	p_F
Эквивалентное давление при нагружении изгибающим моментом, МПа (кгс/см²)	p_M
Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление, МПа (кгс/см²)	$[p]$
Допускаемое наружное давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа (кгс/см²)	$[p]_E$
Допускаемое наружное давление из условия прочности при $\varphi=1$, МПа (кгс/см²)	$[p]_р$
Допускаемое внутреннее избыточное давление или наружное, определяемое из условия прочности или устойчивости всей обечайки (с кольцами жесткости), МПа (кгс/см²)	$[p]_1$
Допускаемое наружное давление из условия устойчивости всей обечайки (с кольцами жесткости) в пределах упругости, МПа (кгс/см²)	$[p]_{1E}$
Допускаемое наружное давление из условия прочности всей обечайки при $\varphi=1$, МПа (кгс/см²)	$[p]_{1р}$
Допускаемое внутреннее избыточное давление или наружное, определяемое из условия прочности или устойчивости обечайки между двумя соседними кольцами жесткости, МПа (кгс/см²)	$[p]_2$
Расчетное поперечное усилие, Н (кгс)	Q
Равнодействующая внутреннего давления на днище (крышку), Н (кгс)	Q_D
Допускаемое поперечное усилие, Н (кгс)	$[Q]$
Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости, Н (кгс)	$[Q]_E$
Допускаемое поперечное усилие из условия прочности при $\varphi=1$, Н (кгс)	$Q_р$
Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности, мм (см)	R
Болтовая нагрузка, Н (кгс)	$R_в$
Реакция прокладки, Н (кгс)	$R_п$
Внутренний радиус отбортовки конической обечайки (днища), мм (см)	r
Радиус выточки, мм (см)	$r_в$
Наружный радиус отбортовки торосферического днища, мм (см)	r_1
Исполнительная толщина стенки обечайки, мм (см)	s
Исполнительная толщина стенки конической обечайки, мм (см)	$s_к$
Толщина крышки в месте уплотнения, мм (см)	$s_п$

Термин	Условное обозначение
Расчетная толщина стенки обечайки, мм (см)	s_R
Расчетная толщина стенки конической обечайки, мм (см)	$s_{\kappa R}$
Расчетная толщина стенки днища (крышки) или переходной части конической обечайки, мм (см)	s_{1R}
Расчетная толщина стенки переходной части обечайки, мм (см)	s_{2R}
Исполнительная толщина стенки тороидального перехода конической обечайки, мм (см)	$s_т$
Исполнительная толщина стенки тороидального перехода пологого конического днища, мм (см)	$s'_т$
Исполнительная толщина стенки днища (крышки) или переходной части конической обечайки, мм (см)	s_1
Исполнительная толщина стенки переходной части обечайки, мм (см)	s_2
Толщина крышки вне уплотнения, мм (см)	s_3
Толщина утоненной части днища в месте кольцевой выточки, мм (см)	s_4
Ширина поперечного сечения кольца жесткости в месте его приварки к обечайке, мм (см)	t
Несущая ширина кольцевого сварного шва, мм (см)	t_i
Половина угла раствора при вершине конической обечайки, град	α; α_1; α_2
Коэффициенты формы	β_1, β_2, β_3, β_4, β_5, β_6, β_7, β_8, β_9, β_{10}, β, β_0, $\beta_т$, $\beta_н$, β_A
Поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям	η
Отношение допускаемых напряжений $\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_2}$	$\varkappa$
Гибкость элемента	λ
Минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа (кгс/см²)	$\sigma_т$
Минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С, МПа (кгс/см²)	$\sigma_т^{20}$
Минимальное значение условного предела текучести при расчетной температуре (напряжение, при котором остаточное удлинение составляет 0,2 %), МПа (кгс/см²)	$\sigma_{0,2}$
Минимальное значение условного предела текучести при температуре 20 °С, МПа (кгс/см²)	$\sigma_{0,2}^{20}$
Минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при расчетной температуре, МПа (кгс/см²)	$\sigma_в$
Среднее значение предела длительной прочности за 10^5 ч при расчетной температуре, МПа (кгс/см²)	$\sigma_{д10^5}$
Средний 1 %-ный предел ползучести за 10^5 при расчетной температуре, МПа (кгс/см²)	$\sigma_{1\%10^5}$
Минимальное значение условного предела текучести при расчетной температуре (напряжение, при котором остаточное удлинение составляет 1 %), МПа (кгс/см²)	$\sigma_{1,0}$
Допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа (кгс/см²)	$[\sigma]$
Допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа (кгс/см²)	$[\sigma]_{20}$

Термин	Условное обозначение
Допускаемое напряжение для кольца жесткости при расчетной температуре, МПа (кгс/см^2)	$[\sigma]_к$
Допускаемое напряжение для переходных частей обечаек (цилиндрических и конических) при расчетной температуре, МПа (кгс/см^2)	$[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$
Коэффициенты прочности сварных швов	φ
Коэффициенты прочности сварных швов в торосферических днищах (в зависимости от расположения)	φ_A, φ_B
Коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости	$\varphi_к$
Коэффициент прочности продольного сварного шва	$\varphi_р$
Расчетный коэффициент прочности сварного шва	φ_R
Коэффициент прочности кольцевого сварного шва	$\varphi_т$
Коэффициент прочности поперечного сварного шва для укрепляющего кольца	$\varphi_а$
Коэффициенты снижения допускаемых напряжений при расчете на устойчивость:	
из условия местной устойчивости при осевом сжатии	φ_1
из условия общей устойчивости при осевом сжатии	φ_2
из условия местной устойчивости при изгибе	φ_3

Цена 20 коп.

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
ДЛИНА	метр	м	m
МАССА	килограмм	кг	kg
ВРЕМЯ	секунда	с	s
СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	ампер	А	A
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА	кельвин	К	K
КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА	моль	моль	mol
СИЛА СВЕТА	кандела	кд	cd
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СОБСТВЕННЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

Величина	Единица		Выражение производной единицы	
	наименование	обозначение	через другие единицы СИ	через основные единицы СИ
Частота	герц	Гц	—	$с^{-1}$
Сила	ньютон	Н	—	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Давление	паскаль	Па	$Н/м^2$	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	Н·м	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность, поток энергии	ватт	Вт	Дж/с	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
Количество электричества, электрический заряд	кулон	Кл	А·с	с·А
Электрическое напряжение, электрический потенциал	вольт	В	Вт/А	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	Ф	Кл/В	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^4 \cdot А^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ом	В/А	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	См	А/В	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	В·с	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	Тл	$Вб/м^2$	$кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Индуктивность	генри	Гн	Вб/А	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-2}$
Световой поток	люмен	лм	—	кд·ср *
Освещенность	люкс	лк	—	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$ *
Активность нуклида	беккерель	Бк	—	$с^{-1}$
Доза излучения	грэй	Гр	—	$м^2 \cdot с^{-2}$

* В эти два выражения входит, наравне с основными единицами СИ, дополнительная единица—стерадиан.

gost.e-ecolog.ru