

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
52857.5—  
2007

---

## Сосуды и аппараты

### НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Расчет обечаек и днищ от воздействия  
опорных нагрузок

Издание официальное



Москва  
Стандартинформ  
2009

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

### Сведения о стандарте

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

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 260 «Оборудование химическое и нефтегазоперерабатывающее»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 503-ст

4 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих международных и европейских стандартов:

Директивы 97/23 ЕС Европейского Парламента и Совета от 29 мая 1997 г. по сближению законодательств государств-членов, касающейся оборудования, работающего под давлением; EN 13445-3 : 2002 «Сосуды, работающие под давлением. Часть 3. Расчет» (EN 13445-3 : 2002 «Unfired pressure vessel — Part 3: Design»)

### 5 ВВЕДЕН В ПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2009

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

**Содержание**

1	Область применения . . . . .	1
2	Нормативные ссылки . . . . .	1
3	Обозначения . . . . .	2
4	Общие положения . . . . .	3
5	Несущие ушки . . . . .	4
6	Опорные лапы . . . . .	9
7	Седловые опоры . . . . .	11
8	Опорные цилиндрические стойки . . . . .	17
9	Опорные пластинчатые стойки . . . . .	19

**Сосуды и аппараты****НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ****Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок**

Vessels and apparatus. Norms and methods of strength calculation.  
Calculation of shells and heads from influence of support loads

Дата введения — 2008—04—01

**1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность цилиндрических обечаек, конических элементов и выпуклых днищ сосудов и аппаратов, применяемых в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности, работающих в условиях однократных<sup>1)</sup> статических нагрузок под внутренним избыточным давлением, вакуумом или наружным давлением, под действием усилий и изгибающих моментов, при нагружении опорными узлами: несущими ушками, опорными лапами, седловыми опорами или опорными стойками.

Нормы и методы расчета на прочность применимы при условии, что отклонение от геометрической формы и неточности изготовления рассчитываемых элементов сосудов не превышают допусков, установленных нормативными документами.

Настоящий стандарт не распространяется на расчет самих опорных узлов.

Настоящий стандарт применяется совместно с ГОСТ Р 52857.1.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 52857.1 — 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования

ГОСТ Р 52857.2 — 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек

ГОСТ Р 52857.6 — 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоциклических нагрузках

**П р и м е ч а н и е** — При использовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при использовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

<sup>1)</sup> Нормы и методы расчета применяются также при многократных нагрузках при условии, что число циклов и размах нагрузок не превышают значений, при которых по ГОСТ Р 52857.6 необходимо проводить расчет на малоциклическую прочность.

### 3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

- $a$  — длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;
- $b$  — ширина седловой опоры, мм;
- $b_0$  — длина основания опорной стойки, мм;
- $b_1$  — длина несущего ушка в основании, мм;
- $b_2$  — ширина подкладного листа, мм;
- $b_3$  — длина подкладного листа, мм;
- $b_4$  — ширина основной плиты опорной лапы, мм;
- $c$  — сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;
- $b_{1\max}$  — максимальная длина ребра опоры, мм;
- $d_1$  — диаметр окружности опорных стоек, мм;
- $d_2$  — наружный диаметр опорной стойки, мм;
- $d_3$  — диаметр подкладного листа, мм;
- $d_4$  — диаметр опорной окружности, мм;
- $d_e$  — эффективный диаметр опорной стойки, мм;
- $D$  — внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;
- $D_k$  — внутренний диаметр конической обечайки в сечении, соответствующем половине линии контакта опорного узла, мм;
- $D_p$  — расчетный диаметр, мм;
- $e$  — длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда, мм;
- $e_1$  — расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой или подкладным листом, мм;
- $e_2$  — расстояние между осью отверстия и средней линией ушка, мм;
- $e_3$  — расстояние между точкой приложения усилия и нейтральной осью кольца жесткости, мм;
- $e_4$  — расстояние между стенкой сосуда и нейтральной осью кольца жесткости при пластическом изгибе, мм;
- $f$  — превышение подкладного листа над гребнем опоры в окружном направлении, мм;
- $F$  — расчетное осевое растягивающее или сжимающее усилие (сжимающее усилие со знаком минус), действующее на полную площадь сечения обечайки в направлении оси цилиндрической или конической обечайки (без учета нагрузки, возникающей от внутреннего избыточного или наружного давления), Н;
- $F_i$  — расчетное усилие, действующее на  $i$ -ю опору, Н;
- $[F]$  — допускаемое усилие из условия устойчивости, Н;
- $[F_1], [F_2], [F_3]$  — допускаемое усилие на опорный элемент, Н;
- $g$  — расстояние между средними линиями ребер, мм;
- $G$  — вес сосуда, Н;
- $h_1$  — высота опорной лапы, мм;
- $H$  — высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;
- $k$  — скос ребра опоры, мм;
- $K_1 \dots K_{23}$  — коэффициенты;
- $l$  — длина линии контакта опоры с днищем, мм;
- $l_1$  — длина опорной лапы, мм;
- $L$  — длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;
- $L$  — расстояние между двумя соседними седловыми опорами, мм;
- $l_e$  — эффективная несущая длина стенки сосуда, мм;
- $M$  — расчетный изгибающий момент, действующий на обечайку в сечении, где расположены опорные узлы, в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), Н·мм;
- $M_i$  — расчетный изгибающий момент над  $i$ -й опорой, Н·мм;
- $M_{ij}$  — максимальный расчетный изгибающий момент между опорами  $i$  и  $j$ , Н·мм;
- $[M]$  — допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости, Н·мм;
- $[M_i]$  — допускаемый изгибающий момент для опорной стойки, Н·мм;
- $n$  — число опор;
- $p$  — расчетное внутреннее избыточное или наружное давление (наружное давление со знаком «минус»), МПа;

$[p]$  — допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление, МПа;  
 $q$  — распределенная нагрузка эквивалентного сосуда, Н/мм;  
 $Q_i$  — максимальное поперечное усилие, действующее в сечении над  $i$ -й опорой, Н;  
 $[Q]$  — допускаемое поперечное усилие, Н;  
 $r$  — радиус нейтрального волокна кольца жесткости, мм;  
 $r_m$  — радиус средней кривизны днища у опорной окружности, мм;  
 $R$  — радиус сферической обечайки или сферического сегмента торосферического днища, мм;  
 $s$  — исполнительная толщина стенки обечайки, мм;  
 $s_1$  — исполнительная толщина стенки выпуклого днища, мм;  
 $s_2$  — исполнительная толщина подкладного листа, мм;  
 $t$  — ширина участка кольца жесткости в месте приварки к стенке обечайки, мм;  
 $W_1$  — момент упругого сопротивления кольца жесткости при изгибе, мм<sup>3</sup>;  
 $W_x$  — момент упругого сопротивления кольца жесткости при кручении, мм<sup>3</sup>;  
 $x$  — расстояние между осью эллиптического днища и серединой опорного узла, мм;  
 $\alpha$  — половина угла раствора при вершине конической обечайки, ... °;  
 $\alpha_1$  — угол между направлением усилия и вертикалью к стенке обечайки, ... °;  
 $\alpha_2$  — угол наклона меридиональной касательной у опорной окружности, ... °;  
 $\beta$  — угол между осью опорной стойки и вертикалью, ... °;  
 $\delta_1$  — угол охвата седловой опоры, ... °;  
 $\delta_2$  — угол охвата сосуда подкладным листом, ... °;  
 $\phi$  — коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;  
 $\vartheta_1$  — коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба;  
 $\vartheta_2$  — коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями;  
 $\bar{\sigma}_m$  — общие мембранные напряжения, МПа;  
 $\bar{\sigma}_{m,x}$  — мембранные напряжения в меридиональном направлении, МПа;  
 $\bar{\sigma}_{m,y}$  — мембранные напряжения в окружном направлении, МПа;  
 $[\sigma]$  — предельное напряжение изгиба, МПа;  
 $[\sigma], [\sigma]_k$  — допускаемые напряжения соответственно для обечайки и кольца жесткости в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), МПа.

#### 4 Общие положения

4.1 Для обечайки, нагруженной опорным узлом, определяют местные допускаемые усилия  $[F]$ . В основу расчета обечаек, нагруженных несущими ушками, опорными лапами или седловыми опорами, положено предельное напряжение изгиба  $[\sigma]$ , определяемое из условия достижения предельного состояния балки прямоугольного сечения, вырезаемой из обечайки.

Для обечаек, установленных на опорные стойки, используют решение по определению предельной нагрузки  $F$  этого узла.

4.2 Предельное напряжение изгиба вычисляют по формуле, которая ограничивает местные напряжения изгиба в зависимости от местных мембранных напряжений и степени нагрузки общими мембранными напряжениями

$$[\sigma] = K_1 K_2 [\sigma], \quad (1)$$

где  $K_1 = \frac{1 - \beta_2^2}{\left(1 + \beta_1 \beta_2\right) + \sqrt{\left(1 + \beta_1 \beta_2\right)^2 + \left(1 - \beta_2^2\right) \beta_1^2}}$ ;

$$K_2 = \begin{cases} 1.25 & \text{для рабочих условий} \\ 1.05 & \text{для условий испытания и монтажа;} \end{cases}$$

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение в рабочих условиях и условиях испытания (монтажа), определяемое по ГОСТ Р 52857.1.

$\vartheta_1$  для опорных узлов указано в 5.4.4, 6.4.4, 6.4.8, 7.5.2.1.

$\vartheta_2$  вычисляют по формуле

$$\vartheta_2 = \frac{\bar{\sigma}_m}{K_2[\phi]}. \quad (2)$$

При  $\vartheta_2 < 0$  принимают  $\vartheta_2 = |\vartheta_2|$ , а знак коэффициента  $\vartheta_1$  меняют на обратный.

Если расстояние между опорным узлом и ближайшим сварным швом более  $\sqrt{D_p s}$ , то принимают  $\varphi = 1$ . Общие мембранные напряжения определяют в соответствии с 4.3, 5.4.4, 5.4.5, 6.4.4, 6.4.8, 7.5.2.1.

#### 4.3 Общие мембранные напряжения

4.3.1 Общее меридиональное мембранные напряжение в цилиндрической обечайке вычисляют по формуле

$$\bar{\sigma}_{m,x} = \frac{pD_p}{4(s-c)} + \frac{1}{\pi D_p(s-c)} \left( F \pm \frac{4M}{D_p} \right). \quad (3)$$

4.3.2 Общее меридиональное мембранные напряжение в конической обечайке вычисляют по формуле

$$\bar{\sigma}_{m,x} = \frac{pD_p}{4(s-c)} + \frac{1}{\pi D_x \cos \alpha (s-c)} \left( F \pm \frac{4M}{D_p} \right). \quad (4)$$

4.3.3 Общее окружное мембранные напряжение в цилиндрической и конической обечайках вычисляют по формуле

$$\bar{\sigma}_{m,y} = \frac{pD_p}{2(s-c)}. \quad (5)$$

4.3.4 Общее мембранные напряжение в сферической обечайке, сферическом сегменте торосферического днища и эллиптическом днище вычисляют по формуле

$$\bar{\sigma}_m = \frac{pD_p}{2(s-c)}. \quad (6)$$

4.3.5 Диаметр  $D_p$  вычисляют по формулам:

- для цилиндрической обечайки:

$$D_p = D; \quad (7)$$

- для конической обечайки:

$$D_p = \frac{D_k}{\cos \alpha}; \quad (8)$$

- для сферической обечайки и сферического сегмента торосферических днищ:

$$D_p = R; \quad (9)$$

- для эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{4H} \sqrt{1 - 4x^2 \frac{D^2 - 4H^2}{D^4}}; \quad (10)$$

- для эллиптического днища с  $\frac{H}{D} = 0,25$ :

$$D_p = D \sqrt{1 - 3 \left( \frac{x}{D} \right)^2}. \quad (11)$$

## 5 Несущие ушки

5.1 Основные размеры несущих ушек приведены на рисунках 1 — 4.

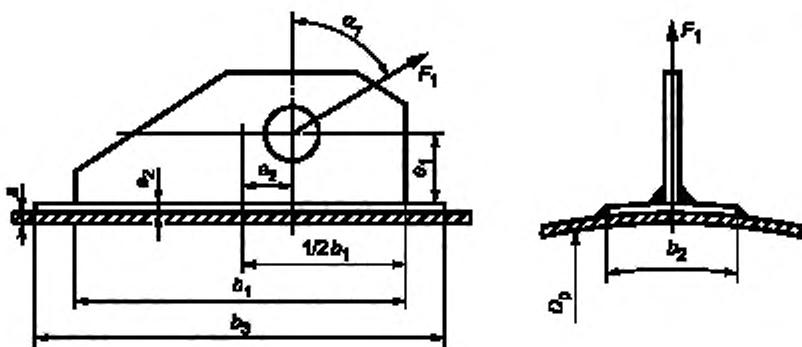


Рисунок 1 — Несущее ушко, приваренное в меридиональном направлении к неукрепленной цилиндрической обечайке

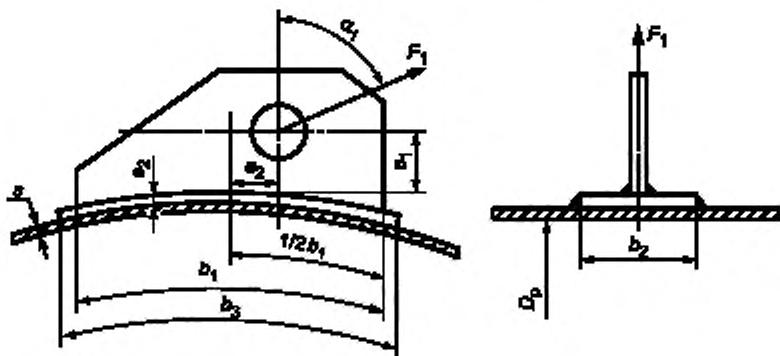
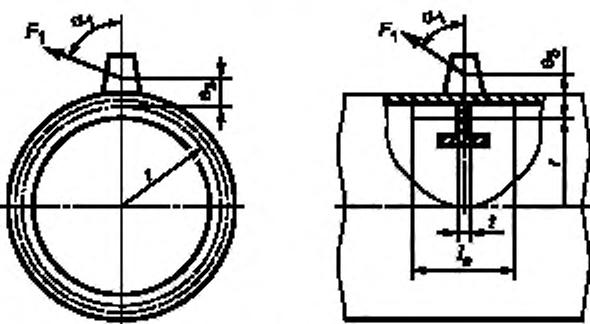


Рисунок 2 — Несущее ушко, приваренное в окружном направлении к неукрепленной цилиндрической обечайке



а — в окружном направлении

б — в продольном направлении

Рисунок 3 — Несущее ушко, приваренное к укрепленной кольцом жесткости цилиндрической обечайке

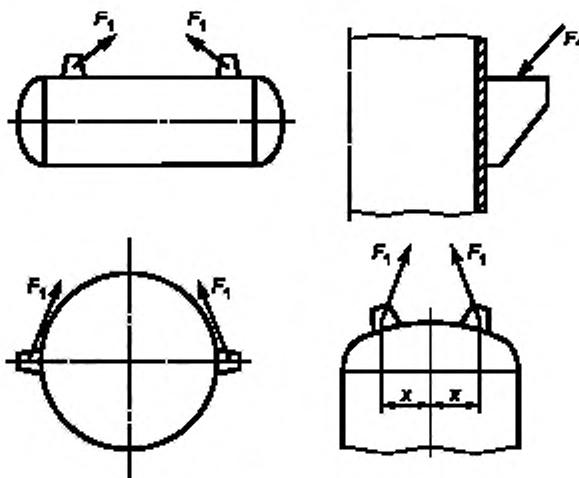


Рисунок 4 — Примеры применения ушек

## 5.2 Условия применения расчетных формул

5.2.1 Формулы применяют, когда  $\frac{s - c}{D_p} \leq 0,05$ .

При наличии подкладного листа  $b_3 \leq 1,5b_1$ ,  $s_2 \geq s$ .

5.2.2 Нагрузка действует в плоскости несущего ушка.

5.2.3 К торосферическим днищам несущее ушко должно быть приварено в области сферического сегмента, к эллиптическим днищам — в области  $0 \leq x \leq 0,4D$ .

## 5.3 Расчет усилия

Усилие  $F_1$ , действующее на несущее ушко, определяют по специальным методам расчета. Для симметричного сосуда, закрепленного на двух симметрично расположенных несущих ушках,  $F_1$  вычисляют по формуле

$$F_1 = \frac{G}{2 \cos \alpha_1}. \quad (12)$$

## 5.4 Проверка несущей способности обечайки, не подкрепленной элементами жесткости

5.4.1 Несущая способность обечайки в месте приварки несущего ушка без подкладного листа должна удовлетворять условию

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{[\sigma_i](s - c)^2}{[6K_3 \cos \alpha_1 + \frac{12\theta_1 K_4}{b_1} |\sin \alpha_1 - \frac{\theta_2}{\theta_1} \cos \alpha_1|]} \quad (13)$$

5.4.2 Несущая способность обечайки в месте приварки несущего ушка с подкладным листом должна удовлетворять условию

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{K_5 [\sigma_i] (s - c)^2}{[6K_3 \cos \alpha_1 + \frac{12(\theta_1 + s_2)}{b_3} K_4 |\sin \alpha_1 - \frac{\theta_2}{\theta_1 + s_2} \cos \alpha_1|]}. \quad (14)$$

5.4.3  $K_3$  и  $K_4$  определяют по графикам, приведенным на рисунках 5 и 6,  $b_0$  принимают:

$$b_0 = \begin{cases} b_1 & \text{для несущих ушек без подкладного листа;} \\ b_3 & \text{для несущих ушек с подкладным листом.} \end{cases}$$

$K_5$  вычисляют по формулам:

- для несущих ушек, приваренных в осевом направлении:

$$K_5 = \min (\exp (1,0882 - 1,4216x + 0,26544\ln z + 1,11\ln x) + 1; 2,0);$$

- для несущих ушек, приваренных в окружном направлении:

$$K_5 = \min (\exp (1,0848 - 2,0892x + 0,32775\ln z + 1,09\ln x) + 1; 1,8).$$

$$\text{где } x = \frac{2b_2}{D_p}; \quad z = \frac{D_p}{2(s - c)}.$$

(15)

5.4.4 При определении  $[\sigma]$  — предельное напряжение изгиба по формуле (1), коэффициент  $K_1$  вычисляют со следующими значениями  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$ :

- для несущих ушек цилиндрических и конических обечайек, приваренных в продольном направлении, принимают  $\vartheta_1 = 0,2$ ;  $\vartheta_2$  вычисляют по формуле (2),  $\bar{\sigma}_m$ , равное  $\bar{\sigma}_{m,y}$  вычисляют по формуле (5);
- для окружных несущих ушек цилиндрических и конических обечайек принимают  $\vartheta_1 = 0,3$ ;  $\vartheta_2$  вычисляют по формуле (2),  $\bar{\sigma}_{mx}$ , равное  $\bar{\sigma}_m$ , вычисляют по формуле (3) или (4).

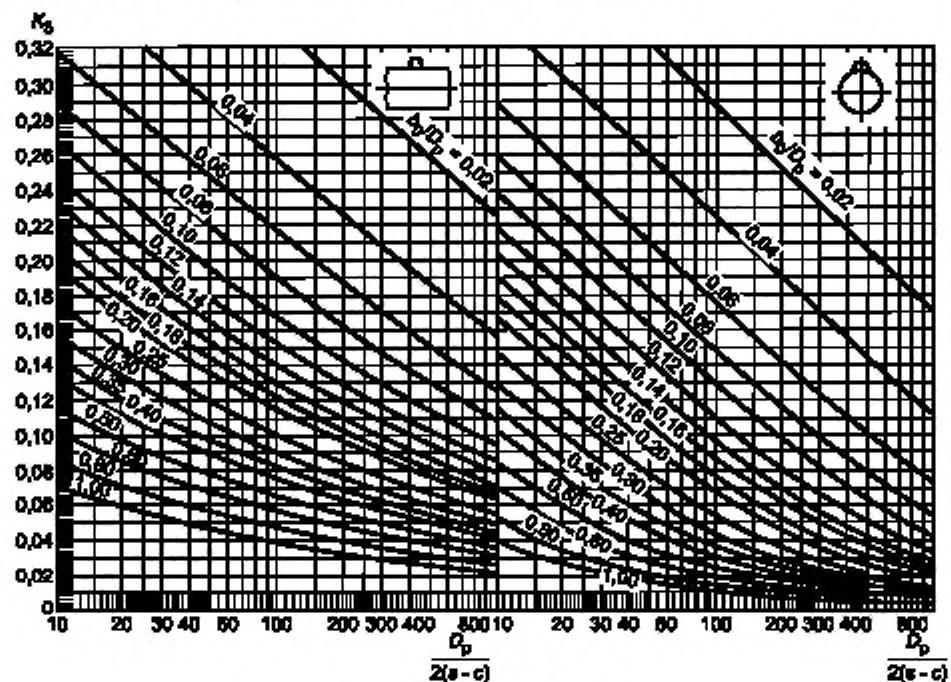
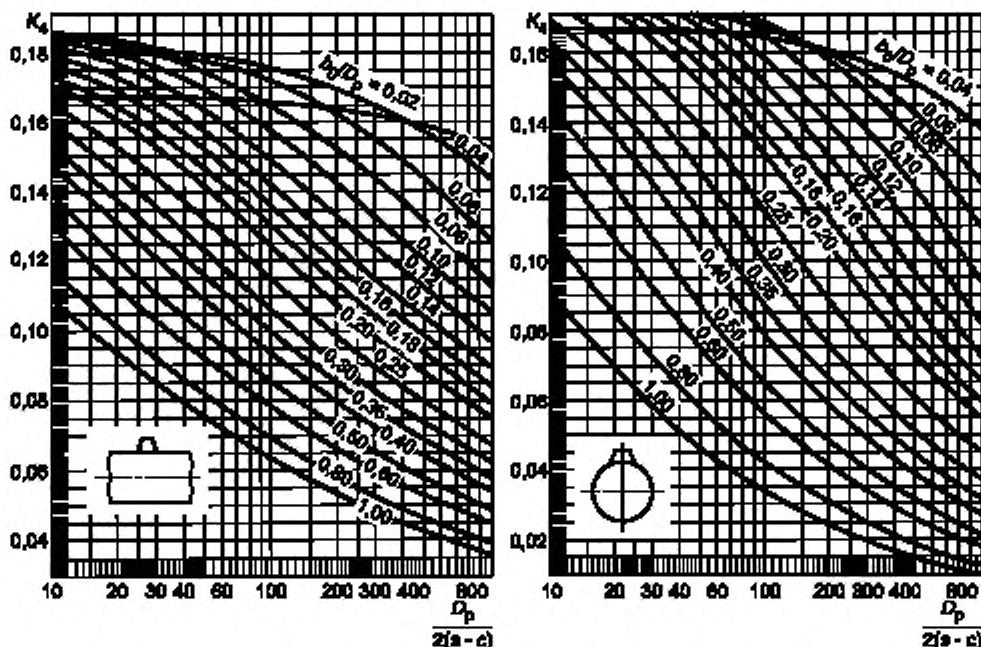


Рисунок 5 — Коэффициент  $K_3$

5.4.5 Для несущих ушек, приваренных к выпуклым днищам, расчет следует проводить отдельно для несущего ушка, приваренного вдоль обечайки, и для несущего ушка, приваренного в окружном направлении обечайки, вычисляя в обоих случаях  $\bar{\sigma}_m$  по формуле (6). Решающим будет меньшее значение  $[\sigma]$ .

5.4.6 Для условий монтажа при  $\bar{\sigma}_m \approx 0$  предельное напряжение изгиба принимают:

$$[\sigma_1] = \begin{cases} 2,09[\sigma] & \text{— для несущих ушек, приваренных вдоль цилиндрических и конических обечайек;} \\ 1,92[\sigma] & \text{— для несущих ушек, приваренных к выпуклым днищам или к цилиндрическим и коническим обечайкам в окружном направлении.} \end{cases} \quad (16)$$

Рисунок 6 — Коэффициент  $K_4$ 

### 5.5 Проверка несущей способности цилиндрической обечайки, подкрепленной кольцом жесткости, расположенным непосредственно под несущим ушком

5.5.1 При расчете  $r$ ,  $e_3$ ,  $W_1$  и  $W_k$  учитывают эффективную несущую длину  $l_e$  обечайки, вычисляемую по формуле

$$l_e = t + 1.1 \sqrt{D(s - c)}. \quad (17)$$

5.5.2 Несущая способность должна удовлетворять условию

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{4[\sigma]_k W_1}{K_6 r}. \quad (18)$$

$K_6$  вычисляют по формулам:

- для несущих ушек, приваренных вдоль обечайки:

$$K_6 = \sqrt{\cos^2 \alpha_1 + \left( \frac{4e_3}{r} \frac{W_1}{W_k} \right)^2 \sin^2 \alpha_1};$$

- для несущих ушек, приваренных в окружном направлении обечайки:

$$K_6 = \max \left\{ \frac{\left| \cos \alpha_1 \right| + 2 \frac{e_3}{r} \left| \sin \alpha_1 \right|}{4 + 10 \frac{e_3}{r}}, \frac{(0.5 + 10 \frac{e_3}{r}) \left| \cos \alpha_1 \right| + \left| \sin \alpha_1 \right|}{4 + 10 \frac{e_3}{r}} \right\}.$$

Если  $[\sigma]_k > [\sigma]$ , то вместо  $[\sigma]_k$  подставляют  $[\sigma]$ .

## 6 Опорные лапы

6.1 Основные размеры опорных лап приведены на рисунке 7.

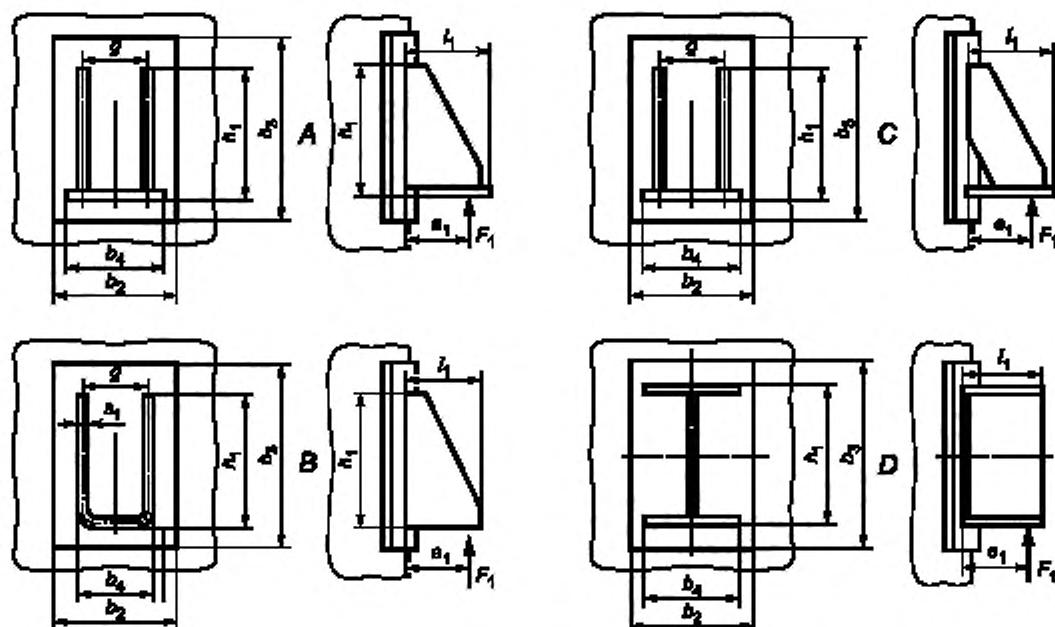


Рисунок 7

## 6.2 Условия применения расчетных формул

6.2.1 Опорные лапы присоединены к цилиндрическим или коническим обечайкам. Направление действия усилия принимают параллельно оси обечайки.

6.2.2 Расчетные формулы применяют при условиях:

$$\frac{(s - c)}{D_p} \leq 0,05,$$

$$g \geq 0,2h_1,$$

$$0,04 \leq \frac{h_1}{D_p} \leq 0,5,$$

$$0,04 \leq \frac{b_4}{D_p} \leq 0,5,$$

$$0,04 \leq \frac{b_3}{D_p} \leq 0,8,$$

$$b_2 \geq 0,6b_3,$$

$$b_3 \leq 1,5h_1,$$

$$s_2 \geq s.$$

### 6.3 Расчет усилия

6.3.1 Усилие, действующее на опорную лапу, вычисляют по формуле

$$F_1 = \begin{cases} \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2(e_1 + s + s_2)} - \text{для } n = 2 \text{ и } n = 4 \\ \frac{G}{3} + \frac{M}{0,75[D + 2(e_1 + s + s_2)]} - \text{для } n = 3 \end{cases}. \quad (20)$$

Если неизвестно точное значение  $e_1$ , то принимают  $e_1 = \frac{5}{6}l_1$ .

6.3.2 При наличии момента  $M$  допускается устанавливать аппарат на две опорные лапы при условии, что момент действует в плоскости опор.

6.3.3 При  $n = 4$ , обеспечивающих равномерное распределение нагрузки между всеми опорными лапами (точный монтаж, установка прокладок, подливка бетона и т. п.), усилие вычисляют по формуле

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{D + 2(e_1 + s + s_2)}. \quad (21)$$

### 6.4 Проверка несущей способности обечайки

6.4.1 Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа должна удовлетворять условию

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{[\sigma_i] h_1 (s - c)^2}{K_7 e_1}. \quad (22)$$

6.4.2 При  $\frac{g}{h_1} < 0,5$  значение  $[F]_1$ , полученное по формуле (22), необходимо умножить на  $\left(0,5 + \frac{g}{h_1}\right)$ .

6.4.3  $K_7$  вычисляют по формулам:

- для конструкции А и С:

$$K_7 = \exp [(-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3) 10^{-2}], \quad (23)$$

- для конструкции В:

$$K_7 = \min \begin{cases} \exp [(-26,791 - 6,936x - 36,330y - 3,503x^2 - 3,357xy + 2,786y^2 + 0,2267x^3 + 0,2831x^2y + 0,3851xy^2 + 1,370y^3) 10^{-2}] \\ \exp [(-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3) 10^{-2}], \end{cases} \quad (24)$$

- для конструкции D:

$$K_7 = \exp [(-29,532 - 45,958x - 91,759z - 1,801x^2 - 12,062xz - 18,872z^2 + 0,1551x^3 + 1,617x^2z + 3,736xz^2 + 1,425z^3) 10^{-2}], \quad (25)$$

где  $x = \ln \left( \frac{D_p}{2(s - c)} \right)$ ;  $y = \ln \frac{h_1}{D_p}$ ;  $z = \ln \frac{b_4}{D_p}$ .

6.4.4  $[\sigma_i]$  — вычисляют по формуле (1).

$K_1$  вычисляют при  $\vartheta_1 = 0,3$ ;  $\vartheta_2$  — по формуле (2), где  $\bar{\sigma}_m$ , равное  $\bar{\sigma}_{m,y}$ , — по формуле (5) для конструкций А, В и С и  $\bar{\sigma}_m$ , равное  $\bar{\sigma}_{m,x}$ , — по формуле (3) или (4) для конструкции D.

6.4.5 Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы с подкладным листом должна удовлетворять условию

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{[\sigma_i] b_3 (s - c)^2}{K_8 (e_1 + s_2)}. \quad (26)$$

6.4.6 При  $\frac{b_2}{b_3} < 0,6$  значение  $[F]_1$ , полученное по формуле (26), необходимо умножить на  $\left(0,4 + \frac{b_2}{b_3}\right)$ .

6.4.7 Коэффициент  $K_8$  вычисляют по формуле:

$$K_8 = \min \begin{cases} \exp[(-49,919 - 39,119x - 107,01y_1 - 1,693x^2 - 11,920xy_1 - 39,276y_1^2 + \\ + 0,237x^3 + 1,608x^2y_1 + 2,761xy_1^2 - 3,854y_1^3)10^{-2}] \\ \exp[(-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + \\ + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3)10^{-2}], \end{cases} \quad (27)$$

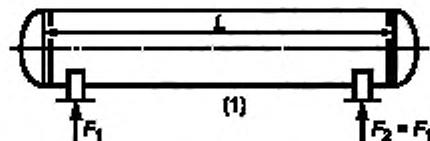
где  $x = \ln\left(\frac{D_p}{2(s-c)}\right)$ ;  $y = \ln\frac{h_1}{D_p}$ ;  $y_1 = \ln\frac{b_3}{D_p}$ .

6.4.8  $[\sigma_1]$  — вычисляют по формуле (1).

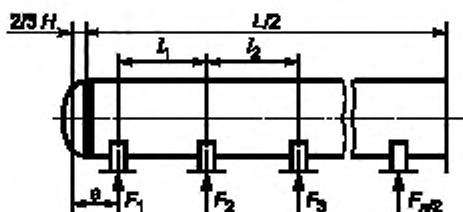
$K_1$  вычисляют при  $\vartheta_1 = 0,4$ ;  $\vartheta_2$  — по формуле (2), где  $\bar{\sigma}_m$ , равное  $\bar{\sigma}_{m,y}$ , — по формуле (5).

## 7 Седловые опоры

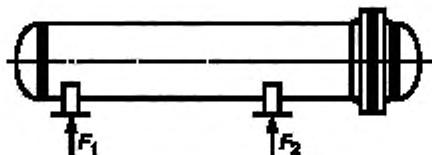
7.1. Основные размеры седловых опор приведены на рисунках 8 и 9.



а — сосуд, опирающийся симметрично на две седловые опоры



б — сосуд, опирающийся симметрично на три или более опоры



с — сосуд, опирающийся несимметрично

Рисунок 8 — Схемы расположения седловых опор для сосудов

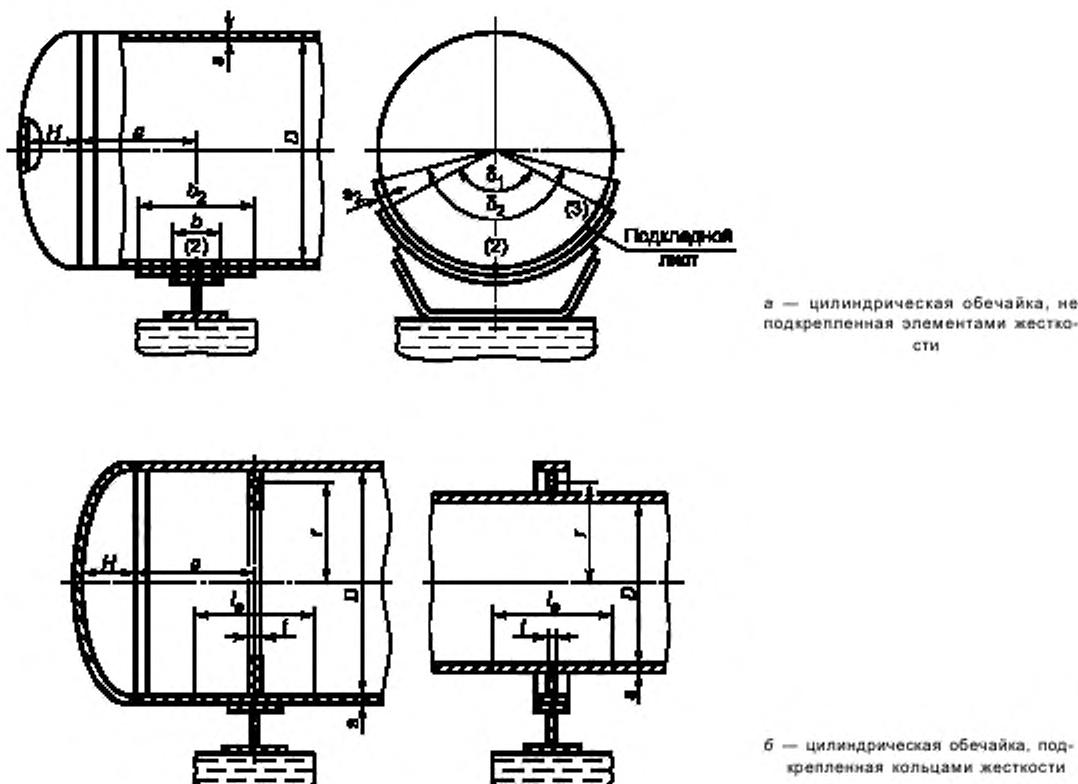


Рисунок 9 — Расчетная схема седловой опоры

**7.2 Условия применения расчетных формул**

7.2.1 Расчетные формулы применимы при выполнении условий:

$$60^\circ \leq \delta_1 \leq 180^\circ,$$

$$\frac{(s - c)}{D} \leq 0,05,$$

$$s_2 \geq s,$$

$$\delta_2 \geq \delta_1 + 20^\circ.$$

Площадь поперечного сечения кольца жесткости  $A_k \geq (s - c) \sqrt{D(s - c)}$ .**7.3 Расчетные усилия, расчетная схема****7.3.1 Расчетная схема определения усилий**

В качестве основной расчетной схемы для определения опорных усилий, моментов и поперечных усилий принимают балку переменного кольцевого сечения, шарнирно опертую в местах расположения опор и нагруженную в общем случае распределенными и сосредоточенными усилиями в зависимости от конструкции сосуда. Расчетные усилия и моменты определяют методами технической механики. На рисунке 10 представлена одна из возможных расчетных схем для цилиндрического сосуда постоянного сечения с эллиптическими днищами, симметрично опертого на две опоры.

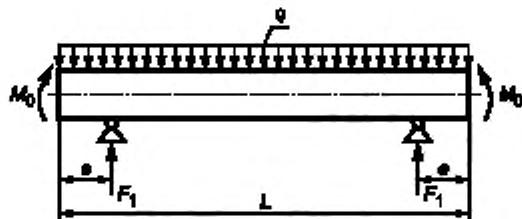


Рисунок 10 — Расчетная схема определения усилий

Нагрузки для приведенной на рисунке 10 балки вычисляют по формулам

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H}; \quad (28)$$

$$M_0 = q \frac{D^2}{16}. \quad (29)$$

7.3.2 Опорное усилие  $F_1$  в общем случае определяется методами технической механики. Для схемы, приведенной на рисунке 10,

$$F_1 = \frac{G}{2}. \quad (30)$$

### 7.3.3 Изгибающие моменты и поперечные усилия

Изгибающие моменты следует вычислять в сечениях обечайки над опорами  $M_i$  и между опорами  $M_i$  в сечениях, где они имеют наибольшие значения.

Поперечные усилия следует вычислять в сечениях обечайки над опорами  $Q_i$ .

В общем случае изгибающие моменты и поперечные усилия определяют методами технической механики.

Для схемы, приведенной на рисунке 10, момент  $M_i$  над опорой вычисляют по формуле

$$M_i = M_0 + \frac{q\sigma^2}{2} - M_0. \quad (31)$$

Максимальный момент  $M_{ij}$  между опорами  $i$  и  $j$  для схемы, представленной на рисунке 10, вычисляют по формуле

$$M_{ij} = M_0 + F_1 \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left( \frac{L}{2} + \frac{2}{3}H \right)^2. \quad (32)$$

Поперечное усилие в сечении обечайки над опорой для схемы, представленной на рисунке 10, вычисляют по формуле

$$Q_i = \frac{L - 2a}{L + \frac{4}{3}H} F_1. \quad (33)$$

### 7.4 Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверять при условии

$$\max \{M_{ij}\} > \max \{M_i\}. \quad (34)$$

#### 7.4.1 Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением

Условие прочности:

$$\frac{\rho D}{4(s - c)} + \frac{4M_{ij}K_0}{\pi D^2(s - c)} \leq [\sigma]\varphi, \quad (35)$$

где  $M_{ij}$  — изгибающий момент по 7.3.3;

$K_9$  — коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью, вычисляют по формуле

$$\begin{aligned} K_9 = \max \{ & 1,6 - 0,20924(x-1) + 0,028702x(x-1) + 0,4795 \cdot 10^{-3}y(x-1) - \\ & - 0,2391 \cdot 10^{-6}xy(x-1) - 0,29936 \cdot 10^{-2}(x-1)x^2 - 0,85692 \cdot 10^{-6}(x-1)y^2 + \\ & + 0,88174 \cdot 10^{-6}x^2(x-1)y - 0,75955 \cdot 10^{-8}y^2(x-1)x + \\ & + 0,82748 \cdot 10^{-4}(x-1)x^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9}(x-1)y^3; 1,0 \}, \end{aligned} \quad (36)$$

где  $y = \frac{D}{(s-c)}$ ;  $x = \frac{L}{D}$ .

Условие устойчивости:

$$\frac{[M_y]}{[M]} \leq 1,0. \quad (37)$$

#### 7.4.2 Сосуды, работающие под наружным давлением

Условие устойчивости:

$$\frac{[\rho]}{[\rho]} + \frac{[M_y]}{[M]} \leq 1,0, \quad (38)$$

где  $[M]$  — допускаемый изгибающий момент;  $[\rho]$  — допускаемое наружное давление. В случае обечайки, укрепленной кольцами жесткости, допускаемое наружное давление определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости.

### 7.5 Проверка несущей способности оболочки, не укрепленной кольцами жесткости в области опорного узла

Несущая способность должна быть проверена в нижних точках (2) и (3) (см. рисунок 9).

#### 7.5.1 Параметры системы, общее меридиональное мембранные напряжение

Параметр, определяемый расстоянием до днища, вычисляют по формуле

$$\gamma = 2,83 \frac{a}{D} \sqrt{\frac{(s-c)}{D}}. \quad (39)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле

$$\beta_1 = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(s-c)}}. \quad (40)$$

Общее меридиональное мембранные напряжение изгиба, действующее в области опорного узла, вычисляют по формуле

$$\bar{\sigma}_{m,x} = \frac{4M_i}{\pi D^2(s-c)}, \quad (41)$$

где  $M_i$  — изгибающий момент по 7.3.3.

#### 7.5.2 Цилиндрическая обечайка без подкладных листов

##### 7.5.2.1 Условие прочности:

$$F_i \leq \min \{ [F]_2, [F]_3 \}, \quad (42)$$

где  $[F]_2$  — допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении, вычисляемое по формуле

$$[F]_2 = \frac{0,7[\sigma_i]_2 \sqrt{D(s-c)(s-c)}}{K_{10} K_{12}}, \quad (43)$$

$[F]_3$  — допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении, вычисляемое по формуле

$$[F]_3 = \frac{0.9[\sigma]_3 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{14} K_{16} K_{17}}, \quad (44)$$

где  $[\sigma]_2$ ,  $[\sigma]_3$  — предельные напряжения изгиба, вычисляемые по формуле (1).

Коэффициенты  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  для определения коэффициента  $K_1$  приведены в таблице 1. Для  $\vartheta_2$  принимают соответственно  $\vartheta_{2,1}$  или  $\vartheta_{2,2}$ , дающие наименьшее предельное напряжение изгиба.

Таблица 1

$[\sigma]_{2,3}$	$\vartheta_1$	$\vartheta_{2,1}$	$\vartheta_{2,2}$
$[\sigma]_2$	$-\frac{0.23 K_{13} K_{15}}{K_{12} K_{10}}$	$-\bar{\sigma}_{mx} \frac{1}{K_2[\sigma]}$	$\left( \frac{\rho D}{4(s-c)} - \bar{\sigma}_{mx} \right) \frac{1}{K_2[\sigma]}$
$[\sigma]_3$	$-\frac{0.53 K_{11}}{K_{14} K_{16} K_{17} \sin(0.5\delta_1)}$	0	$\frac{\rho D}{2(s-c)} \frac{1}{K_2[\sigma]}$

$K_{10}$  — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры ( $K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\}$ ),

$K_{12}$  — коэффициент, учитывающий влияние угла охвата ( $K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \delta_1}{\sin(0.5\delta_1)}$ ),

$K_{14}$  — коэффициент, учитывающий влияние угла охвата ( $K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \delta_1}{\sin(0.5\delta_1)}$ ),

$K_{16}$  — коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища ( $K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6\gamma)^2} \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}}$ ),

$K_{17}$  — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры ( $K_{17} = \frac{1}{1 + 0.63 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \frac{b}{D} \delta_1}$ ).

7.5.2.2 Проверку устойчивости следует проводить по формуле

$$\frac{|\rho|}{[\rho]} + \frac{|M_e|}{[M]} + \frac{|F_e|}{[F]} + \left( \frac{Q_e}{[Q]} \right)^2 \leq 1.0, \quad (45)$$

где  $\rho = 0$  — для сосудов, работающих под внутренним избыточным давлением;

$[\rho]$  — допускаемое наружное давление (для обечайки, укрепленной кольцами жесткости, допускаемое наружное давление определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости);

$F_e$  — эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры, вычисляемое по формуле

$$F_e = F_l \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{(s-c)}} K_{13} K_{15}, \quad (46)$$

где  $K_{13}$  — коэффициент, учитывающий влияние угла охвата ( $K_{13} = \frac{\max \left\{ 1.7 - \frac{2.1 \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0.5\delta_1)}$ );

$K_{15}$  — коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища ( $K_{15} = \min \left\{ 10, \frac{0.8 \sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1} \right\}$ );

$K_{11}$  — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры ( $K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cos \beta_1}{\beta_1}$ );

$\bar{\sigma}_{m,x}$  вычисляют по формуле (41).

При вычислении коэффициентов  $K_{12} \dots K_{17}$  значение угла  $\delta_1$  следует подставлять в радианах.

### 7.5.3 Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

#### 7.5.3.1 Проверка несущей способности

Проверку несущей способности следует проводить по 7.5.2.1. В этом случае:

- подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной  $b_2$  с углом охвата  $\delta_2$ ;
- во всех формулах вместо  $b$  следует принимать  $b_2$ , вместо  $\delta_1$  следует принимать  $\delta_2$ , толщину подкладного листа не учитывают;
- подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда, во всех формулах и на графиках вместо  $(s - c)$  следует подставлять  $s_{eff}$ , вычисляемую по формуле

$$s_{eff} = (s - c) \sqrt{1 + \left( \frac{s_2}{s - c} \right)^2}. \quad (47)$$

Устойчивость проверяют по 7.5.2.2.

### 7.6 Проверка несущей способности обечайки с кольцом жесткости в области опорного узла

#### 7.6.1 Проверка прочности и устойчивости стенки сосуда

7.6.1.1 Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением, проверяют по условию прочности

$$\frac{\rho D}{4(s - c)} + \frac{4M_i}{\pi D^2(s - c)} \leq [\sigma]. \quad (48)$$

где  $M_i$  — изгибающий момент по 7.3.3.

Устойчивость следует проверять по формуле (45), принимая  $\rho = 0$  и  $F_o = 0$ .

#### 7.6.1.2 Сосуды, работающие под наружным давлением

Устойчивость проверяют по формуле (45), принимая  $F_o = 0$ .

#### 7.6.2 Прочность кольца жесткости должна удовлетворять условию

$$F_i \leq \frac{K_{18}[M_T]\varphi}{(0,5D \pm e_4)}, \quad (49)$$

где  $K_{18}$  — коэффициент по таблице 2;

Таблица 2

Значение угла охвата $\delta_1$ ,	$K_{18}$	
60°	14	—
90°	21	20
120°	33	28
150°	56	50
180°	103	—

[ $M_T$ ],  $e_4$  — определяют по таблице 3 ( $e_4 > 0$  во всех случаях). При этом параметры  $s_o$  и  $l_o$  вычисляют по формулам

$$s_o = (s - c) \left( 1 - \frac{|\rho| D}{2(s - c)[\sigma]} \right) \frac{[\sigma]}{[\sigma]_k}, \quad (50)$$

$$l_o = t + 4 \sqrt{D(s - c)}. \quad (51)$$

Знак «+» следует принимать для колец, расположенных снаружи сосуда, знак «-» — для колец, расположенных внутри сосуда.

Таблица 3

Сечение кольца	$\theta_4$	$[M_7]$
	$\frac{th - l_o s_6}{2t}$	$0,5[t(h - e_4)^2 + te_4^2 + (2e_4 + s_6)l_o s_6] [\sigma]_k$
	$\frac{b_4 s_5 + hs_4 - l_o s_6}{2s_4}$	$0,5[s_4(h - e_4)^2 + s_4 e_4^2 + (2h - 2e_4 + s_5)b_4 s_5 + (2e_4 + s_6)l_o s_6] [\sigma]_k$
	$\frac{hs_4 - l_o s_6}{2s_4}$	$0,5[s_4(h - e_4)^2 + 2t s_5(h - s_5) + (2e_4 + s_6)l_o s_6] [\sigma]_k$

В случае применения профиля, не представленного в таблице 3,  $[M_7]$  следует вычислять по формуле

$$[M_7] = W_p [\sigma]_k, \quad (52)$$

где  $W_p$  — пластический момент сопротивления площади поперечного сечения профиля, включая площадь  $l_o s_6$ . Нейтральная ось (для определения  $e_4$ ) разделяет площадь поперечного сечения профиля на две равные части.

## 8 Опорные цилиндрические стойки

8.1 Основные размеры цилиндрических опорных стоек приведены на рисунке 11.

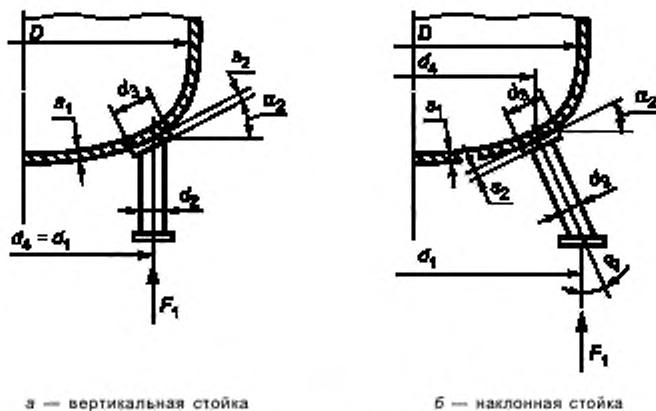


Рисунок 11

## 8.2 Условия применения расчетных формул

8.2.1 Метод расчета днищ, установленных на наклонных опорных стойках, применяют, если их взаимное перемещение исключено.

8.2.2 Метод расчета применяют только для сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением.

8.2.3 Формулы применяют при соблюдении условия  $d_3 \leq 1,6d_2$ .

8.2.4 К торосферическим днищам опорные стойки должны быть присоединены в области сферического сегмента, а к эллиптическим днищам — в области  $0 < x < 0,4 D$ .

## 8.3 Расчет усилия

8.3.1 Вертикальное усилие на опорную стойку вычисляют по формуле

$$F_1 = \begin{cases} \frac{G}{3} + \frac{M}{0,75d_4} & \text{для } n = 3, \\ \frac{G}{2} + \frac{M}{d_4} & \text{для } n = 4. \end{cases} \quad (53)$$

8.3.2 При  $n = 4$ , обеспечивающих равномерное распределение нагрузки между всеми опорными стойками (точный монтаж, установка прокладок, подливка бетона и т. п.), усилие вычисляют по формуле

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{d_4}. \quad (54)$$

8.3.3 Действие момента  $M$  допускается только в том случае, если опорные стойки связаны между собой жесткой рамой, препятствующей взаимному перемещению стоек.

При этом следует выполнить условие:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{G}{4} > \frac{M}{d_4} \text{ — для } n = 4 \\ \frac{G}{3} > \frac{M}{0,75d_4} \text{ — для } n = 3 \end{array} \right\}. \quad (55)$$

## 8.4 Проверка несущей способности выпуклого днища

8.4.1 Несущая способность выпуклого днища должна удовлетворять условиям

$$\frac{F_1 - p \frac{\pi d_e^2}{4}}{[F_1]} + \frac{p}{[p]} \leq 1,0, \quad (56)$$

$$\frac{F_1}{[F_1]} \leq 1,0, \quad (57)$$

где  $[F]_1$  — допускаемое вертикальное усилие, вычисляемое по формуле (58);

$$d_e = \begin{cases} d_2 & \text{для опорных стоек без подкладного листа,} \\ d_3 & \text{для опорных стоек с подкладным листом;} \end{cases}$$

$[\rho]$  — допускаемое внутреннее избыточное давление в серединной области выпуклого днища по ГОСТ Р 52857.2.

8.4.2 Допускаемое вертикальное усилие вычисляют по формуле

$$[F]_1 = 1,57[\sigma](s_1 - c)^2 \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \sqrt{1 + 5 \frac{d_e^2}{r_m(s_1 - c)}} \quad (58)$$

8.4.3  $r_m$  и  $\alpha_2$  определяют по таблице 4.

Таблица 4

Форма днища	Эллиптическое днище	Торосферическое днище типов		
		A	B	C
$r_m$	$\frac{2D \sqrt{1 - \frac{3}{4} \left( \frac{d_4}{D} \right)^2}}{1 + \frac{1}{1 - \frac{3}{4} \left( \frac{d_4}{D} \right)^2}}$	$D$	$0,9 D$	$0,8 D$
$\sin \alpha_2$	$\frac{d_4}{2D} \sqrt{1 - \frac{3}{4} \left( \frac{d_4}{D} \right)^2}$	$\frac{d_4}{2D}$	$\frac{d_4}{1,8D}$	$\frac{d_4}{1,6D}$

## 9 Опорные пластинчатые стойки

9.1 Основные размеры опорных пластинчатых стоек приведены на рисунке 12.

### 9.2 Условия применения расчетных формул

9.2.1 Метод расчета применяют только для эллиптических днищ, работающих под внутренним избыточным давлением.

9.2.2 Формулы применяют при соблюдении условий для эллиптических днищ:

$$0,003 \leq \frac{s_1 - c}{D} \leq 0,02,$$

$$\frac{d_4}{D} \geq 0,7,$$

$$0,1 \leq \frac{l}{D} \leq 0,35,$$

$$b_3 \geq 1,2l,$$

$$b_2 \geq 0,6b_3,$$

$$s_2 \geq s_1.$$

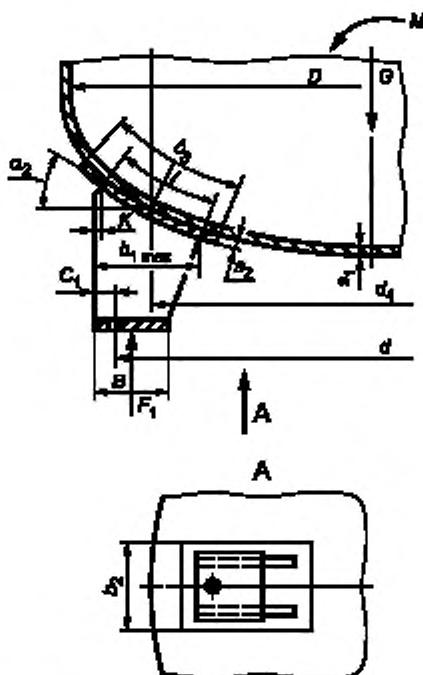


Рисунок 12 — Опорная стойка на эллиптическом днище

### 9.3 Расчетные усилия

9.3.1 Вертикальное усилие на опорную стойку вычисляют по формуле

$$F_1 = \begin{cases} \frac{G}{3} + \frac{M}{0,75d_4} & \text{при } n = 3, \\ \frac{G}{2} + \frac{M}{d_4} & \text{при } n = 4. \end{cases} \quad (59)$$

9.3.2 При  $n = 4$ , обеспечивающих равномерное распределение нагрузки между всеми опорными стойками (точный монтаж, установка прокладок, подливка бетона и т. п.), усилие вычисляют по формуле

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{d_4} \quad (60)$$

9.3.3 Меридиональный момент, передаваемый опорой на днище, вычисляют по формуле

$$M_1 = \frac{F_1(b_{1\max} - B + K)}{2}. \quad (61)$$

9.3.4 При действии изгибающего момента  $M$  необходимо выполнить расчет на прочность фундаментного болта от действия растягивающего усилия:

$$F = \begin{cases} \frac{M}{0,75d} - \frac{G}{3} & \text{при } n = 3, \\ \frac{M}{d} - \frac{G}{4} & \text{при } n = 4. \end{cases} \quad (62)$$

Расчет на прочность фундаментного болта проводить не следует при выполнении условий:

$$\begin{aligned} \frac{G}{3} &> \frac{M}{0,75d} & \text{при } n = 3, \\ \frac{G}{4} &> \frac{M}{d} & \text{при } n = 4. \end{aligned} \quad (63)$$

#### 9.4 Проверка несущей способности эллиптического днища

9.4.1 Несущую способность днища в месте приварки опорной лапы следует проверять по формуле

$$\frac{F_1 \sin \alpha_2}{[F]_1} + \frac{M_1}{[M]_1} + \frac{p}{[\rho]} \leq 1, \quad (64)$$

где  $[\rho]$  — допускаемое внутреннее избыточное давление в серединной области выпуклого днища по ГОСТ Р 52857.2;

угол  $\alpha_2$  определяют по таблице 4.

9.4.2 Допускаемое нормальное усилие для неподкрепленного эллиптического днища вычисляют по формуле

$$[F]_1 = 0,25 K_{20} [\sigma] (s_1 - c)^2 (0,2 + d_4 / D), \quad (65)$$

где  $d_4$  — диаметр сечения, проходящего через середину линии контакта опоры с днищем, вычисляют по формуле

$$d_4 = d + 2C_1 - K - b_{1\max}. \quad (66)$$

9.4.3 Допускаемый меридиональный момент для неподкрепленного эллиптического днища вычисляют по формуле

$$[M]_1 = 0,25 K_{21} [\sigma] (s_1 - c)^2 D (0,2 + d_4 / D). \quad (67)$$

9.4.4 Коэффициенты  $K_{20}$  и  $K_{21}$  определяют по графикам, приведенным на рисунках 13 и 14 соответственно, в зависимости от относительной толщины днища  $(s_1 - c) / D$  и относительной длины линии контакта опоры с днищем  $l / D$ .

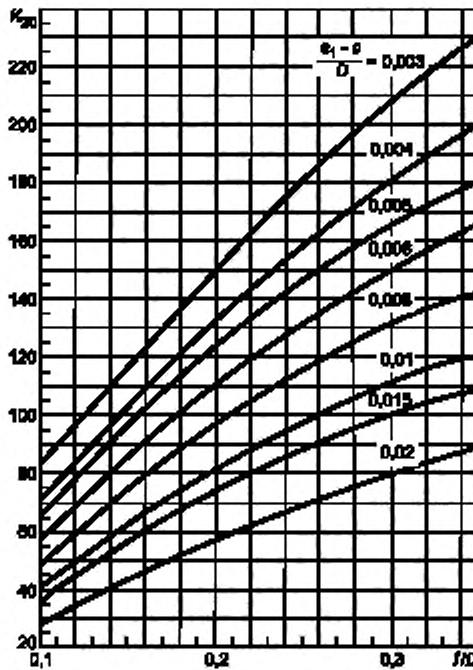


Рисунок 13 — Коэффициент  $K_{20}$

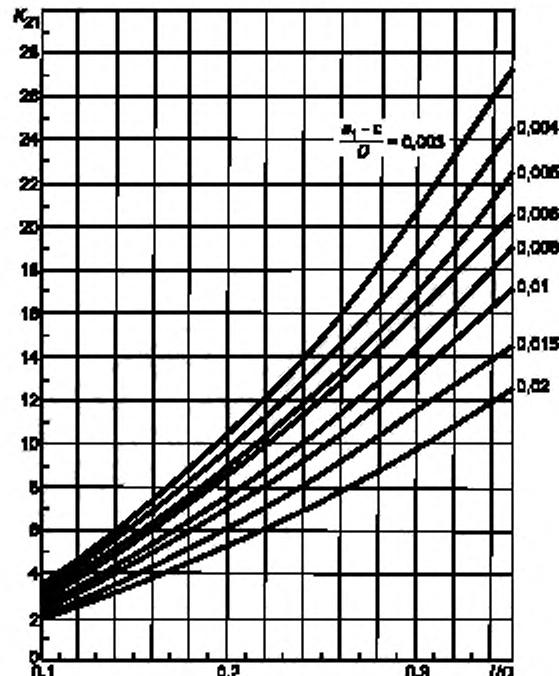


Рисунок 14 — Коэффициент  $K_{21}$

9.4.5 Длину линии контакта опоры с днищем вычисляют по формуле

$$l = (b_{1\max} - K) / \sin \alpha_2. \quad (68)$$

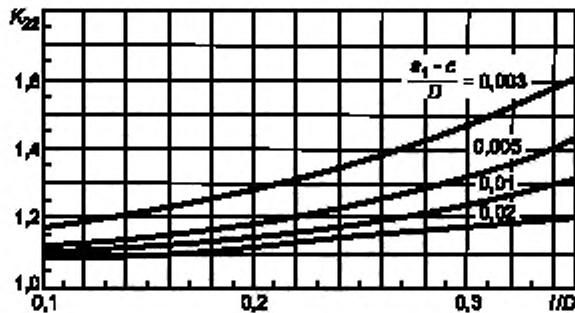
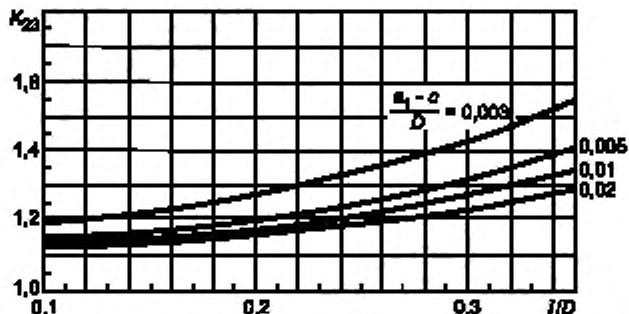
9.4.6 Допускаемое нормальное усилие для подкрепленного подкладным листом эллиптического днища вычисляют по формуле

$$[F]_1 = 0,25 K_{20} K_{22} [\sigma] (s_1 - c)^2 (0,2 + d_4 / D). \quad (69)$$

9.4.7 Допускаемый меридиональный момент для подкрепленного подкладным листом эллиптического днища вычисляют по формуле

$$[M_1] = 0,25 K_{21} K_{23} [\sigma] (s_1 - c)^2 D (0,2 + d_4 / D). \quad (70)$$

9.4.8 Коэффициенты  $K_{22}$  и  $K_{23}$  определяют по графикам, приведенным на рисунках 15 и 16 соответственно.

Рисунок 15 — Коэффициент  $K_{22}$ Рисунок 16 — Коэффициент  $K_{23}$

---

УДК 66.023:006.354

ОКС 71.120  
75.200

Г02

ОКП 36 1500

---

Ключевые слова: сосуды и аппараты, нормы и методы расчета на прочность, опорные нагрузки

---

Редактор *Р. Г. Говердовская*  
Технический редактор *В. Н. Прусакова*  
Корректор *Н. И. Гаврищук*  
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Подписано в печать 20.05.2009. Формат 60×84<sup>1/8</sup>. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,30. Тираж 73 экз. Зак. 974.

---

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)

Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.