

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
52857.9—  
2007

---

Сосуды и аппараты

## НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Определение напряжений в местах пересечений  
штуцеров с обечайками и днищами  
при воздействии давления и внешних нагрузок  
на штуцер

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 ВПЕРВЫЕ

*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*

© Стандартиформ, 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 . . . . .	1
4 Общие положения . . . . .	2
5 Расчет напряжений в цилиндрической обечайке . . . . .	2
6 Расчет напряжений в сферическом днище . . . . .	6

## Сосуды и аппараты

## НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

## Определение напряжений в местах пересечений штуцеров с обечайками и днищами при воздействии давления и внешних нагрузок на штуцер

Vessels and apparatus. Norms and methods of strength calculation.  
Determination of stresses at nozzle-to-shell and head junctions under action  
of pressure and external loads on the nozzle

Дата введения — 2008—04—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы расчета напряжений в местах пересечения штуцеров с цилиндрическими обечайками и сферическими днищами при нагружении внутренним давлением и внешними статическими нагрузками на штуцер. Методы расчета применимы при расположении штуцеров перпендикулярно к стенке сосуда.

Настоящий стандарт применяется совместно с ГОСТ Р 52857.1, ГОСТ Р 52857.3.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ Р 52857.3—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлении. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер

**П р и м е ч а н и е** — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по 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 пользовании 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.

## 3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$C_1, C_2, C_3$  — коэффициенты;

$D_c$  — средний диаметр обечайки у отверстия, мм;

$d_c$  — средний диаметр штуцера, мм;

$L$  — ширина накладного кольца, мм;

$l$  — длина штуцера, мм;

$F$  — осевые усилия, Н;

$M_x$  — изгибающий момент в окружном направлении обечайки, Н · мм;

$M_y$  — изгибающий момент в продольном направлении обечайки, Н · мм;

$M_B$  — изгибающий момент, действующий на штуцер сферического днища, Н · мм;  
 $N_p$  — число циклов нагружения давлением;  
 $N_F$  — число циклов нагружения от осевого усилия;  
 $p$  — расчетное внутреннее избыточное давление, МПа;  
 $R_c$  — средний радиус оболочки около отверстия, мм;  
 $s$  — толщина стенки обечайки или днища, мм;  
 $s_1$  — толщина стенки штуцера, мм;  
 $s_2$  — толщина стенки накладного кольца, мм;  
 $s_3$  — эквивалентная расчетная толщина стенки, мм;  
 $\alpha_p, \alpha_F, \alpha_M$  — коэффициенты концентрации напряжений около штуцера;  
 $\lambda_c$  — геометрический параметр для цилиндрической обечайки;  
 $\lambda_s$  — геометрический параметр для сферического днища.

#### 4 Общие положения

Приведенный в настоящем стандарте метод расчета по определению напряжений в месте пересечения штуцеров с обечайками и днищами применяется в качестве дополнения к расчету по ГОСТ Р 52857.3, когда по тем или иным условиям не применим метод расчета по предельным нагрузкам. Такие условия возникают, когда сосуд работает при переменном режиме нагружения и возможно разрушение из-за накопления пластических деформаций или усталости металла либо под воздействием агрессивной среды в аппарате снижаются пластические свойства материала.

В связи со сложностью расчета напряжений в местах пересечения штуцеров с корпусом сосуда допускается применять другие методы расчета, например численные методы исследований напряжений, основанные на методе конечных элементов или экспериментальные методы определения напряжений.

#### 5 Расчет напряжений в цилиндрической обечайке (см. рисунок 1)

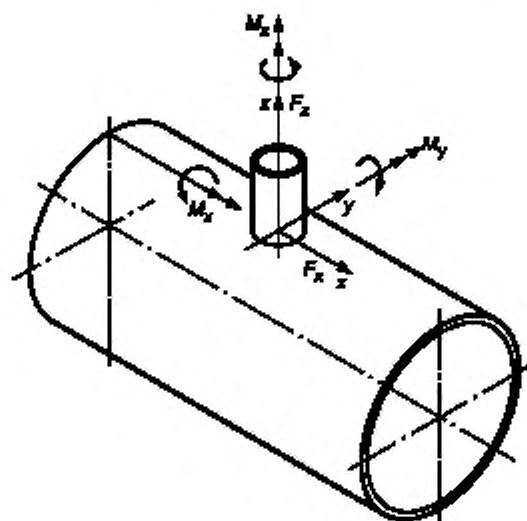


Рисунок 1 — Схема нагружения штуцера внешними нагрузками

**5.1 Условия применения расчетных формул**

Формулы применимы при следующих условиях:

а)  $0,001 \leq s/D_c \leq 0,1$ ;

б)  $\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c s_3}} \leq 10$ ;

в) штуцер расположен на расстоянии не менее  $\sqrt{R_c s_3}$  от других местных нагрузок;

г) толщина штуцера, равная  $s_1$ , должна сохраняться на длине  $l \geq \sqrt{d_c s_1}$ .

**5.2 Определение эквивалентной толщины стенки обечайки около штуцера**

Эквивалентную толщину стенки обечайки около штуцера вычисляют по формулам:

а) если накладного кольца нет, то

$$s_3 = s;$$

б) если установлено накладное кольцо, то при  $L \geq \sqrt{R_c (s + s_2)}$   $s_3 = s + s_2$ ,

$$\text{если } L < \sqrt{R_c (s + s_2)},$$

$$s_3 = s + \min \left( s_2, \frac{L}{\sqrt{D_c (s + s_2)}}; s_2 \right).$$

**5.3 Определение максимальных напряжений****5.3.1 Определение максимального напряжения от внутреннего давления**

Максимальное напряжение от внутреннего давления вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \left( \frac{p D_c}{2 s_3} \right) \frac{2 + 2 \frac{d_c}{D_c} \sqrt{\frac{d_c s_1}{D_c s_3}} + 1,25 \frac{d_c}{D_c} \sqrt{\frac{P_2}{s_3}}}{1 + \frac{s_1}{s_3} \sqrt{\frac{d_c s_1}{D_c s_3}}}. \quad (1)$$

**5.3.2 Определение максимального напряжения от осевого усилия**

Максимальное напряжение от осевого усилия вычисляют по формуле

$$\sigma_F = \frac{2,25}{C_1} \left( \frac{F_2}{s_3^2} \right). \quad (2)$$

Коэффициент  $C_1$  определяют по графику, приведенному на рисунке 2, или вычисляют по формуле

$$C_1 = a_0 + a_1 \lambda_c + a_2 \lambda_c^2 + a_3 \lambda_c^3 + a_4 \lambda_c^4.$$

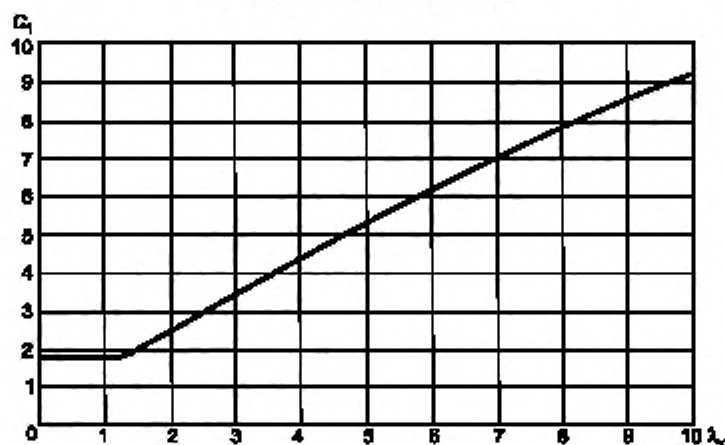


Рисунок 2 — График для определения  $C_1$

Коэффициенты  $a_0$  —  $a_4$  определяют по таблице 1.

Т а б л и ц а 1 — Коэффициенты для определения  $C_1$

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
0,60072181	0,95196257	0,0051957881	−0,001406381	0

### 5.3.3 Определение максимального напряжения от изгибающего момента $M_x$

Максимальное напряжение от изгибающего момента  $M_x$  вычисляют по формуле

$$\sigma_{M_x} = \frac{2,25}{C_2} \left( \frac{4M_x}{s_0^2 d_c} \right). \quad (3)$$

Коэффициент  $C_2$  определяют по графику, приведенному на рисунке 3, или вычисляют по формуле

$$C_2 = a_0 + a_1 \lambda_c + a_2 \lambda_c^2 + a_3 \lambda_c^3 + a_4 \lambda_c^4.$$

Коэффициенты  $a_0$  —  $a_4$  определяют по таблице 2.

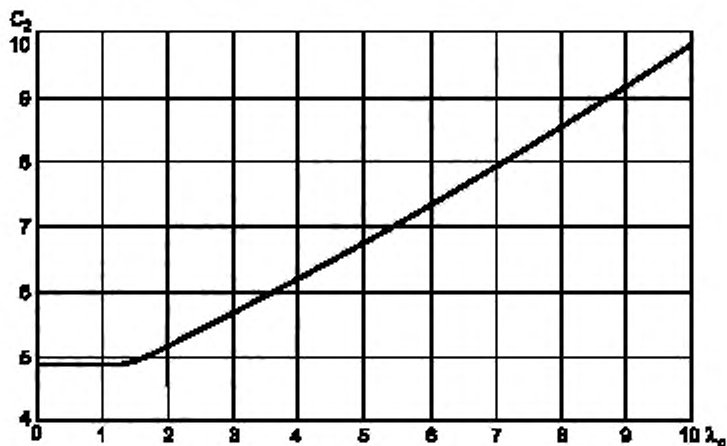


Рисунок 3 — График для определения  $C_2$

Т а б л и ц а 2 — Коэффициенты для определения  $C_2$

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
4,526315	0,064021889	0,15887638	−0,021419298	0,0010350407

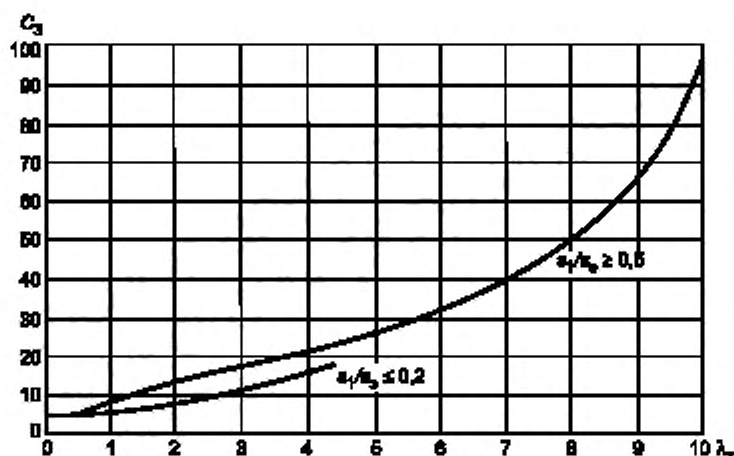
### 5.3.4 Определение максимального напряжения от изгибающего момента $M_y$

Максимальное напряжение от изгибающего момента  $M_y$  вычисляют по формуле

$$\sigma_{M_y} = \frac{2,25}{C_3} \left( \frac{4M_y}{s_0^2 d_c} \right). \quad (4)$$

Коэффициент  $C_3$  определяют по графику, приведенному на рисунке 4, или вычисляют по формуле

$$C_3 = a_0 + a_1 \lambda_c + a_2 \lambda_c^2 + a_3 \lambda_c^3 + a_4 \lambda_c^4.$$

Рисунок 4 — График для определения  $C_3$ 

Коэффициенты  $a_0$  —  $a_4$  определяют по таблице 3.

Таблица 3 — Коэффициенты для определения  $C_3$ 

$s_1 / s_0$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$\leq 0,2$	4,8844124	-0,071389214	0,79991259	-0,024155709	0
$\geq 0,5$	6,3178075	-3,6618209	4,5145391	-0,83094839	0,050698494

#### 5.4 Условия прочности при совместном действии статических нагрузок

Для пластичного в условиях эксплуатации материала условия прочности выполняются, если

$$\sqrt{(\sigma_p + \sigma_F)^2 + (\sigma_{M_x}^2 + \sigma_{M_y}^2)} \leq 3[\sigma]. \quad (5)$$

При направлении  $F_z$  от поверхности стенки сосуда  $\sigma_F$  имеет знак плюс.

Если материал не обладает достаточной пластичностью (удлинение при разрыве стандартного образца составит менее 14 %, а ударная вязкость на образцах KCV менее 27 Дж/см<sup>2</sup>), то допускаемое напряжение определяют на основании специальных исследований.

#### 5.5 Условия прочности при малоцикловой нагрузке

Условия прочности при циклическом нагружении давлением  $p$ , осевым усилием на штуцер  $F_z$  и изгибающими моментами ( $M_x$ ,  $M_y$ ) проверяют по ГОСТ Р 52857.6.

Допускаемое число циклов определяют по ГОСТ Р 52857.6. Амплитуды напряжений, необходимые для определения допускаемых чисел циклов, равны:

$$\sigma_{ap} = \frac{\sigma_p}{2}; \quad \sigma_{aF} = \frac{\sigma_F}{2}; \quad \sigma_{aM_x} = \frac{\sigma_{M_x}}{2}; \quad \sigma_{aM_y} = \frac{\sigma_{M_y}}{2}. \quad (6)$$

5.6 Проверку прочности штуцера от меридиональных напряжений выполняют по ГОСТ Р 52857.3.



## 6 Расчет напряжений в сферическом днище <sup>1)</sup>

### 6.1 Условия применения расчетных формул

Формулы применимы при следующих условиях:

- а)  $0,001 \leq s/R_c \leq 0,1$ ;
- б) расстояние от штуцера до другого концентратора напряжений должно быть не менее  $\sqrt{R_c s_0}$ ;
- в) толщина штуцера, равная  $s_1$ , должна сохраняться на длине  $l \geq \sqrt{d_c s_1}$ ;
- г) штуцер расположен перпендикулярно к поверхности оболочки;
- д)  $\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c s_0}} \leq 10$ .

### 6.2 Определение эквивалентной толщины стенки днища около штуцера

Эквивалентную толщину стенки днища около штуцера вычисляют:

- а) если нет накладного кольца, то  $s_2 = s$ ;
- б) если установлено накладное кольцо, то при  $L \geq \sqrt{R_c (s + s_2)}$   $s_2 = s + s_2$ ,  
если  $L < \sqrt{R_c (s + s_2)}$ ,

$$s_2 = s + \min \left( s_2 \frac{L}{\sqrt{R_c (s + s_2)}}; s_2 \right)$$

### 6.3 Определение максимальных напряжений

#### 6.3.1 Определение максимального напряжения от внутреннего давления

Максимальное напряжение от внутреннего давления вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \alpha_p \frac{p R_c}{2 s_2}, \quad (7)$$

где  $\alpha_p$  — коэффициент концентрации, определяемый по графикам, приведенным на рисунках 5, 6.

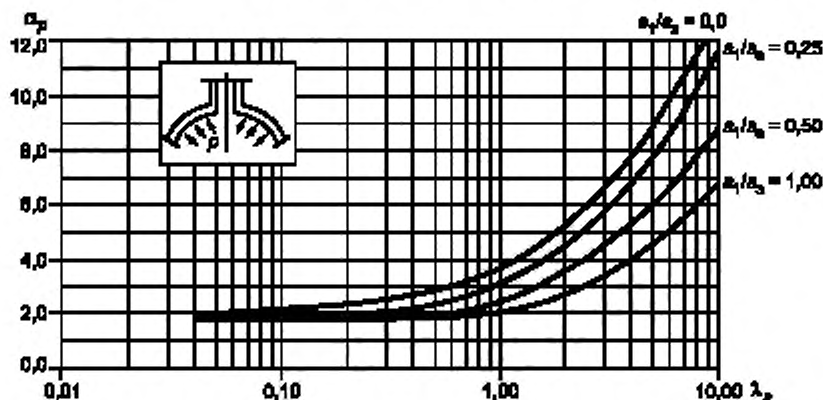


Рисунок 5 — Коэффициенты концентрации в месте пересечения штуцера со сферической оболочкой при внутреннем давлении

<sup>1)</sup> Расчет может быть применен для эллиптического днища, если расстояние от наружной кромки штуцера до центра днища, измеренного по хорде, не более 0,4 наружного диаметра днища. Средний радиус  $R_c$  принимается равным среднему радиусу в вершине днища.

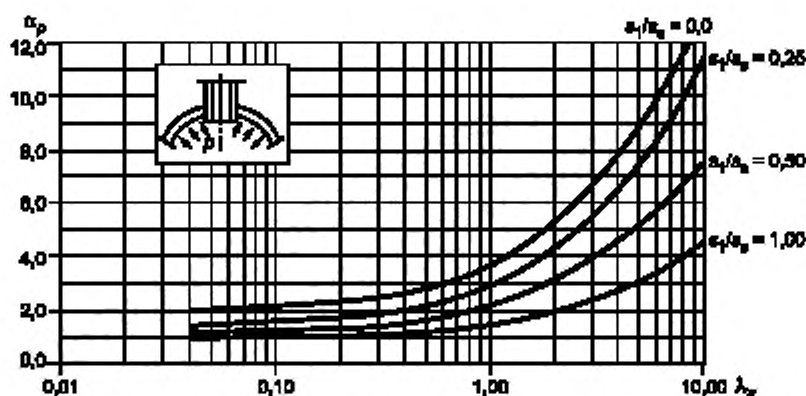


Рисунок 6 — Коэффициенты концентрации в месте пересечения проходящего штуцера со сферической оболочкой при внутреннем давлении

### 6.3.2 Определение максимального напряжения от осевого усилия

Максимальное напряжение от осевого усилия вычисляют по формуле

$$\sigma_F = \alpha_z \left( \frac{F_z}{\pi d_c s_3} \right) \sqrt{\frac{R_c}{s_3}}, \quad (8)$$

где  $\alpha_z$  — коэффициент концентрации, определяемый по графикам, приведенным на рисунках 7, 8.

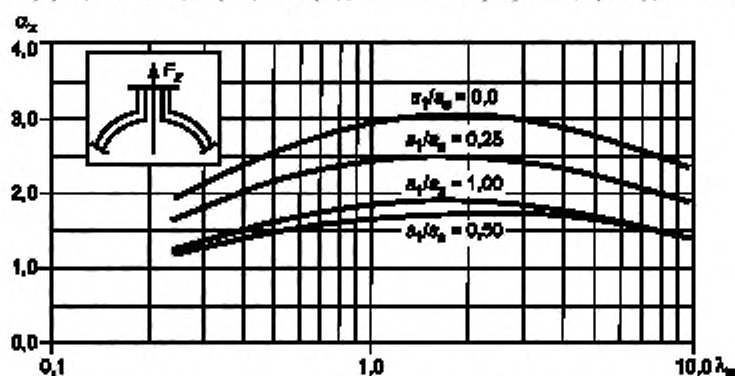


Рисунок 7 — Коэффициенты концентрации в месте пересечения штуцера со сферической оболочкой при осевом усилии на штуцер

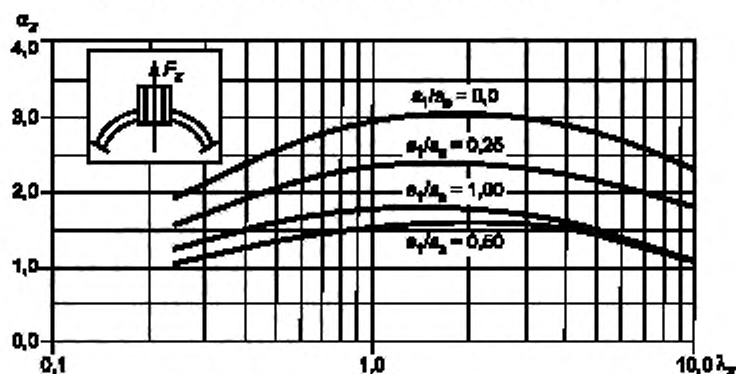


Рисунок 8 — Коэффициенты концентрации в месте пересечения проходящего штуцера со сферической оболочкой при осевом усилии на штуцер

### 6.3.3 Определение максимальных напряжений от изгибающего момента

Максимальное напряжение от изгибающего момента вычисляют по формуле

$$\sigma_M = \alpha_M \left( \frac{4M_B}{\pi d_c^2 s_3} \right) \sqrt{\frac{R_c}{s_3}}, \quad (9)$$

где  $\alpha_M$  — коэффициент концентрации, определяемый по графикам, приведенным на рисунках 9, 10.

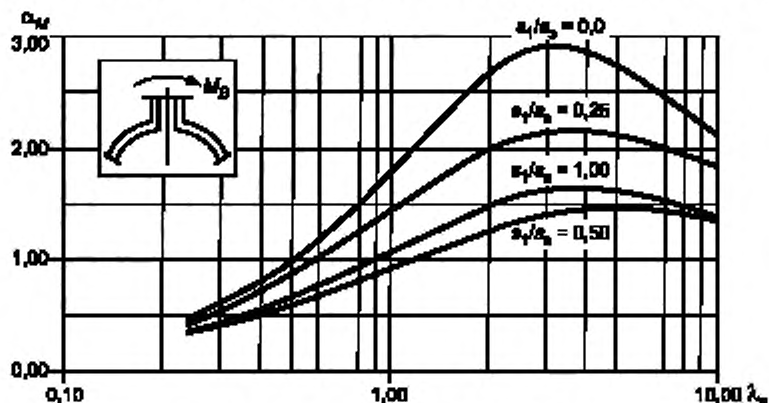


Рисунок 9 — Коэффициенты концентрации в месте пересечения штуцера со сферической оболочкой при нагружении штуцера изгибающим моментом

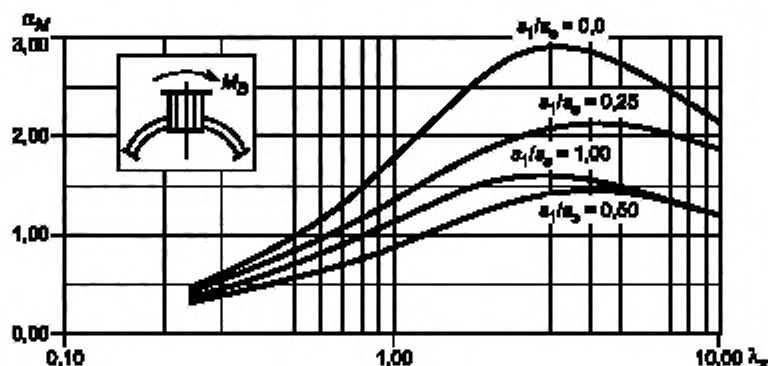


Рисунок 10 — Коэффициенты концентрации в месте пересечения проходящего штуцера со сферической оболочкой при нагружении штуцера изгибающим моментом

### 6.4 Условия прочности при совместном действии статических нагрузок

Для пластичного в условиях эксплуатации материала условия прочности выполняются, если:

$$\sqrt{\sigma_p^2 + (\sigma_F + \sigma_M)^2} \leq 3[\sigma]. \quad (10)$$

Если материал не обладает достаточной пластичностью (удлинение при разрыве стандартного образца составит менее 14 %, а ударная вязкость на образцах KCV менее 27 Дж/см<sup>2</sup>), то допускаемое напряжение определяют на основании специальных исследований.

### 6.5 Условия прочности при малоцикловой нагрузке

Условия прочности при совместном действии малоцикловой нагрузки от давления  $p$ , осевого усилия  $F_z$  и изгибающего момента  $M_B$  выполняются по ГОСТ Р 52857.6.

Амплитуды напряжений, необходимые для определения допускаемых чисел циклов, равны

$$\sigma_{ap} = \frac{\sigma_p}{2}; \quad \sigma_{af} = \frac{\sigma_F}{2}; \quad \sigma_{am} = \frac{\sigma_M}{2}. \quad (11)$$

6.6 Проверку прочности штуцера от продольных напряжений выполняют по ГОСТ Р 52857.3.

УДК 66.023:006.354

ОКС 71.120  
75.200

Г02

ОКП 36 1500

Ключевые слова: сосуды и аппараты, штуцера, определение напряжений, нормы и методы расчета на прочность

---

Редактор *Р. Г. Говардовская*  
Технический редактор *В. Н. Прусакова*  
Корректор *Н. И. Гаеришук*  
Компьютерная верстка *А. П. Финогеновой*

Подписано в печать 20.05.2009. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 0,95. Тираж 73 экз. Зак. 978.

---

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.