



**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР**

# **СОСУДЫ И АППАРАТЫ**

**НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ  
ОБЕЧАЕК И ДНИЩ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ОПОРНЫХ НАГРУЗОК**

**ГОСТ 26202–84  
(СТ СЭВ 2574–80)**

**Издание официальное**

**Цена 10 коп.**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва**

**РАЗРАБОТАН** Министерством химического и нефтяного машиностроения

**ИСПОЛНИТЕЛИ**

**С. И. Зусмановская**, канд. техн. наук; **Л. П. Перцев**, канд. техн. наук (руководители темы); **Г. В. Мамонтов**, канд. техн. наук; **И. Е. Зейде**; **С. А. Белов**; **А. К. Кузнецова**; **А. Н. Ходорец**

**ВНЕСЕН** Министерством химического и нефтяного машиностроения

Член Коллегии **А. М. Васильев**

**УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 июня 1984 г. № 1887

**СОСУДЫ И АППАРАТЫ**

**Нормы и методы расчета на прочность обечаек  
и днищ от воздействия опорных нагрузок**

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

**ГОСТ  
26202-84**

**(СТ СЭВ 2574-80)**

ОКП 36 1510

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 июня 1984 г. № 1887 срок введения установлен

с 01.07.84

**Несоблюдение стандарта преследуется по закону**

Настоящий стандарт распространяется на сосуды и аппараты, предназначенные для работы в химической и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности, отвечающие требованиям ГОСТ 24306-80, и устанавливает нормы и методы расчета на прочность сосудов и аппаратов, статически нагруженных опорными узлами: несущими ушками, опорными лапами, седловыми опорами, опорными стойками.

Стандарт не распространяется на расчет самих опорных узлов.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 2574-80.

### **1. ПРИНЦИП РАСЧЕТА**

1.1. Для обечайки, нагруженной опорным узлом, определяют местные допускаемые усилия  $[F]_i$ . В основу расчета обечаек, нагруженных несущими ушками, опорными лапами или седловыми опорами, положено предельное напряжение изгиба  $[\sigma_i]$ , 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.

1.2. Предельное напряжение изгиба

1.2.1. Предельное напряжение изгиба следует определять по формуле (1), которая ограничивает местные напряжения изгиба

в зависимости от местных мембранных напряжений и степени нагрузки общими мембранными напряжениями

$$[\sigma_t] = K_1 [\sigma] \frac{n_T}{K_2}, \quad (1)$$

где  $K_1$  — определяют по черт. 1 в зависимости от  $\vartheta_1$  (по п. 1.2.2) и  $\vartheta_2$  (по п. 1.2.3);

$$K_2 = \begin{cases} 1, 2 & \text{— для рабочих условий;} \\ 1, 0 & \text{— для условий испытания и монтажа.} \end{cases}$$

1.2.2. Значение  $\vartheta_1$  для опорных узлов указано в пп. 2.4.4, 3.4.4, 4.5.2.1.

1.2.3.  $\vartheta_2$  определяют по формуле

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

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  $\sqrt{D_R s}$ , то принимают  $\varphi = 1$ .

1.3. Общие мембранные напряжения

1.3.1. Общее меридиональное мембранное напряжение в цилиндрической обечайке следует определять по формуле

$$\bar{\sigma}_{mx} = \frac{PD}{4(s-c)} + \frac{1}{\pi D_R (s-c)} \left( F \pm \frac{4M}{D_R} \right). \quad (3)$$

1.3.2. Общее меридиональное мембранное напряжение в конической обечайке следует определять по формуле

$$\bar{\sigma}_{mx} = \frac{PD_R}{4(s-c)} + \frac{1}{\pi D_K \cos \alpha (s-c)} \left( F \pm \frac{4M}{D_K} \right). \quad (4)$$

1.3.3. Общее окружное мембранное напряжение в цилиндрической и конической обечайках следует определять по формуле

$$\bar{\sigma}_{m\gamma} = \frac{PD_R}{2(s-c)}. \quad (5)$$

1.3.4. Общее мембранное напряжение в сферической обечайке, сферическом сегменте торосферического днища и эллиптическом днище следует определять по формуле

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

1.3.5. Расчетный диаметр  $D_R$  определяют по формулам:

$$D_R = D \text{ — для цилиндрической обечайки;} \quad (7)$$

$$D_R = \frac{D_K}{\cos \alpha} \text{ — для конической обечайки;} \quad (8)$$

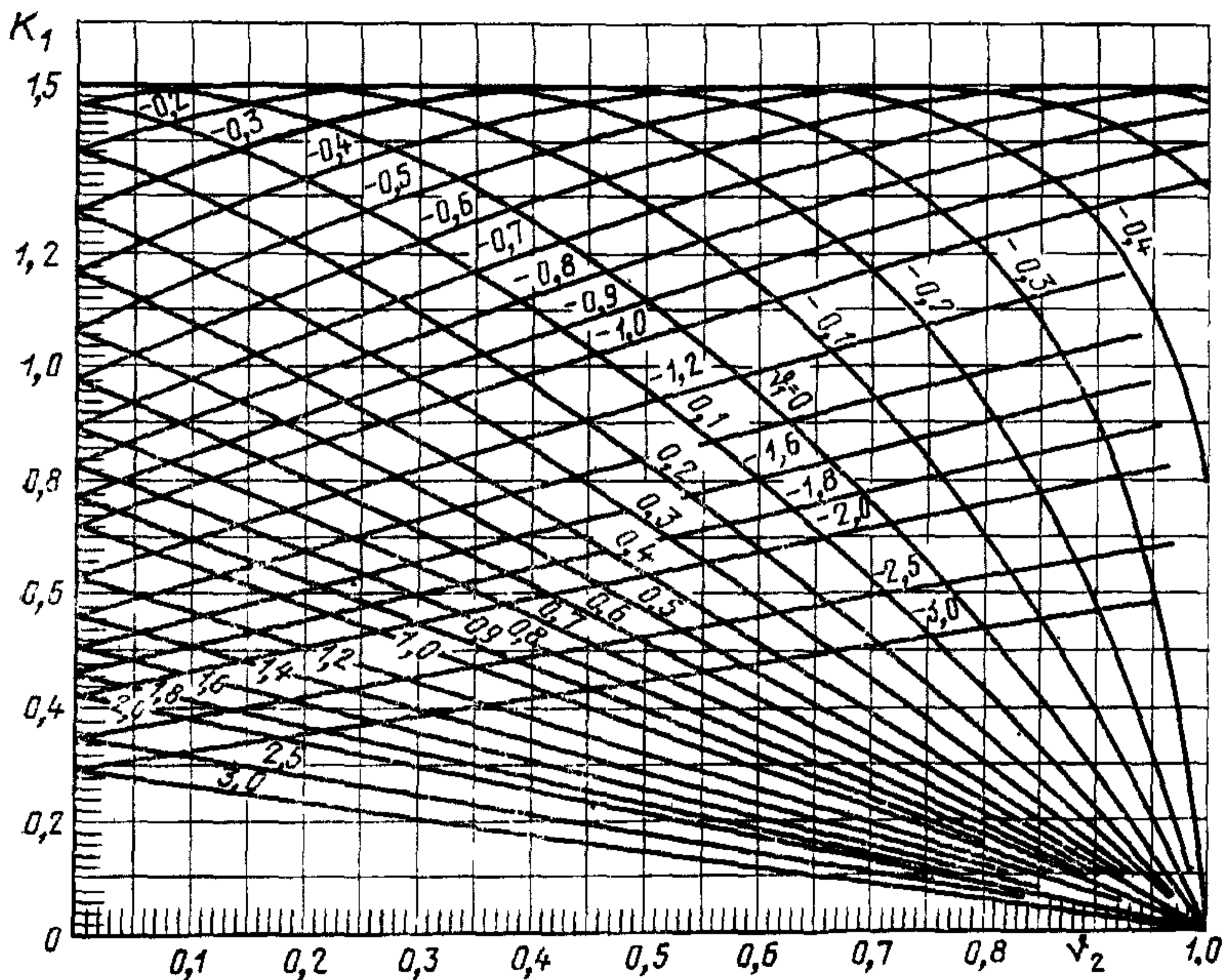
$$D_R = R \text{ — для сферической обечайки и сферического сегмента торосферических днищ;} \quad (9)$$

$$D_R = \frac{D^2}{4H} \sqrt{1 - 4x^2 \frac{D^2 - 4H^2}{D^4}} \text{ — для эллиптического днища;} \quad (10)$$

$$D_R = D \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x}{D}\right)^2} \text{ — для эллиптического днища} \\ \text{с } \frac{H}{D} = 0,25. \quad (11)$$

Условные обозначения величин, применяемые в расчетных формулах, приведены в справочном приложении.

### Коэффициент $K_1$



$$K_1 = \begin{cases} \left( \frac{1 + 3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3\vartheta_1^2} \right) \left( \pm \sqrt{\frac{9\vartheta_1^2(1 - \vartheta_2^2)}{(1 + 3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2)^2} + 1} - 1 \right); & K_1 \geq 0 \text{ — при } (\vartheta_1) \neq 0 \\ 1,5(1 - \vartheta_2^2) \text{ — при } \vartheta_1 = 0 \end{cases}$$

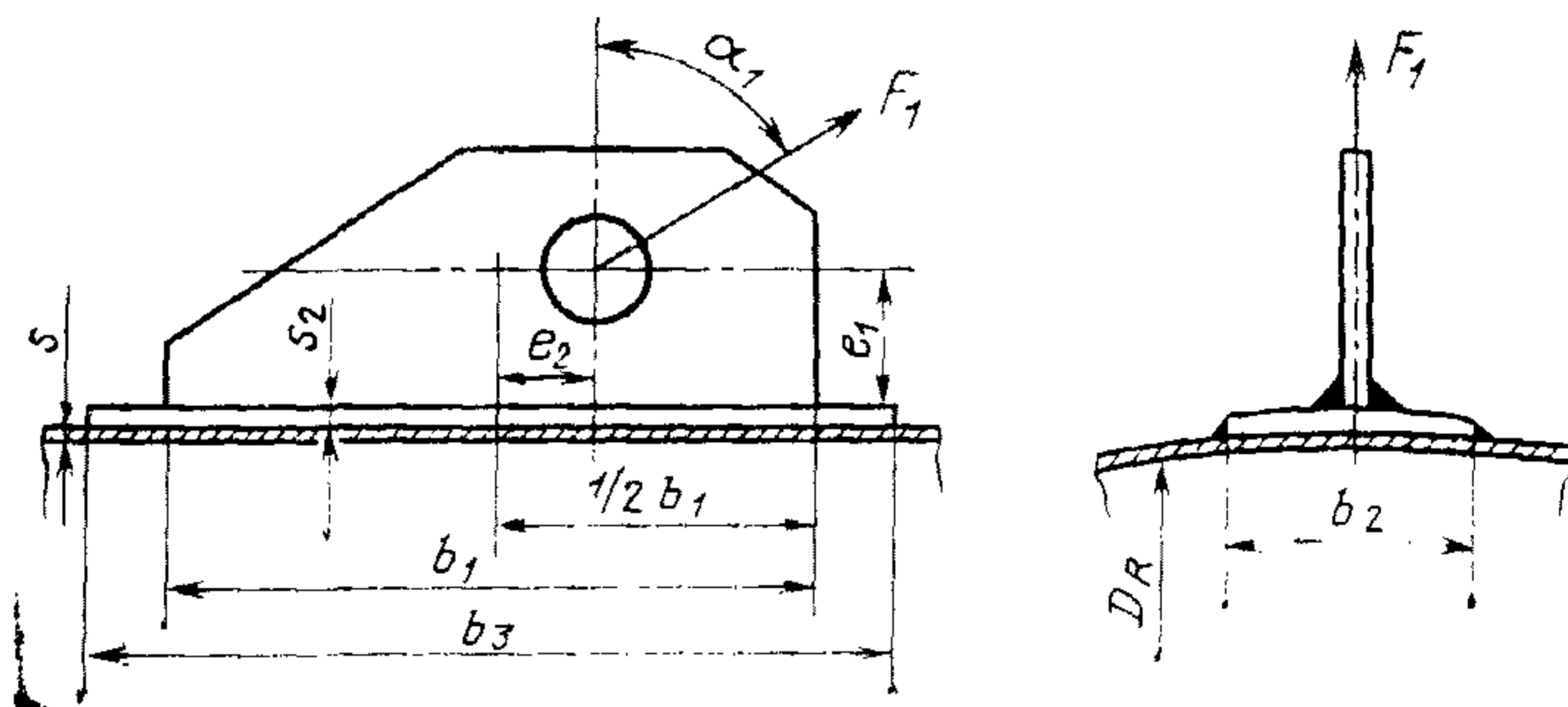
Черт. 1

## 2. НЕСУЩИЕ УШКИ

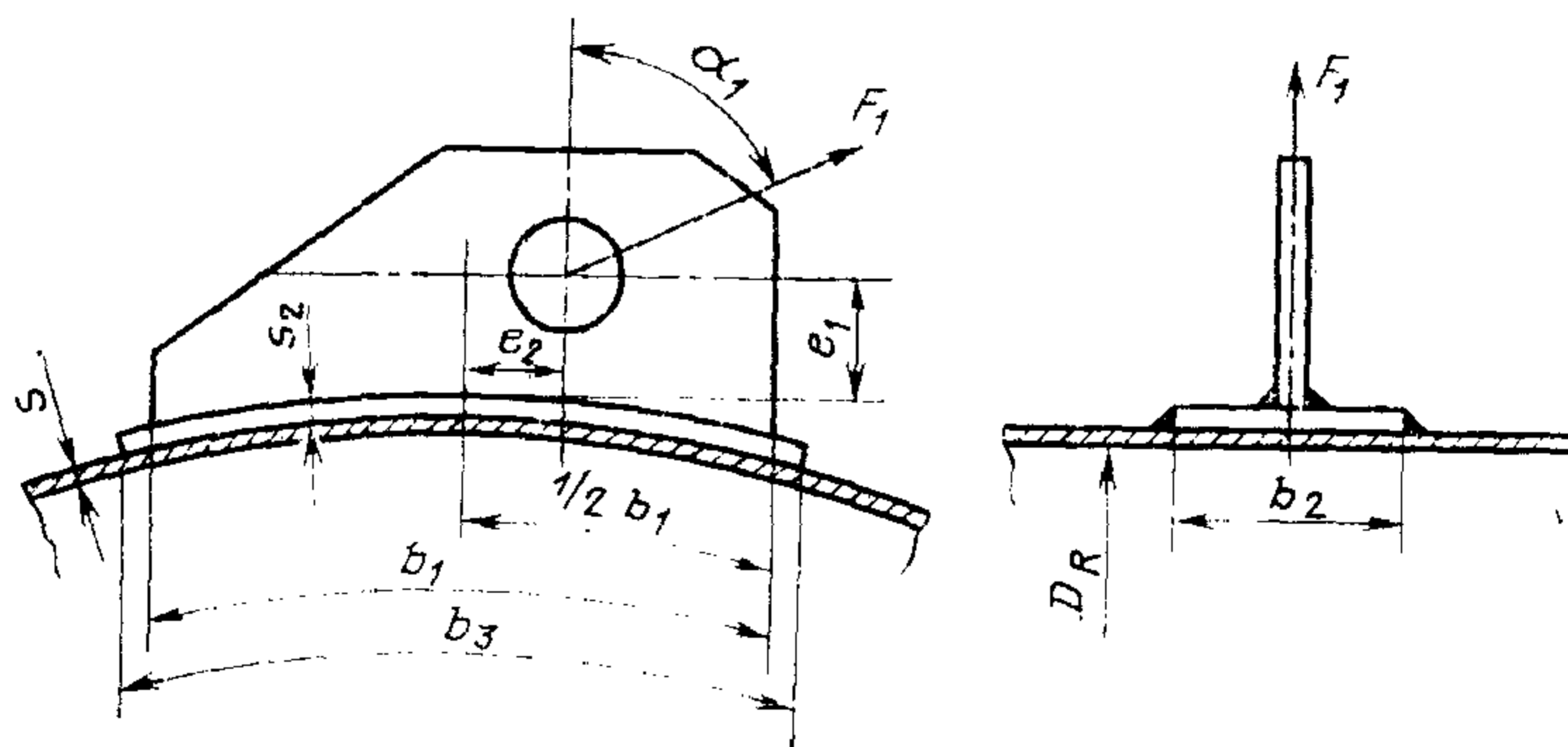
2.1. Расчетные модели приведены на черт. 2—4.

### ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБЕЧАЙКА, НЕ УКРЕПЛЕННАЯ КОЛЬЦОМ ЖЕСТКОСТИ

Несущее ушко, приваренное в продольном направлении



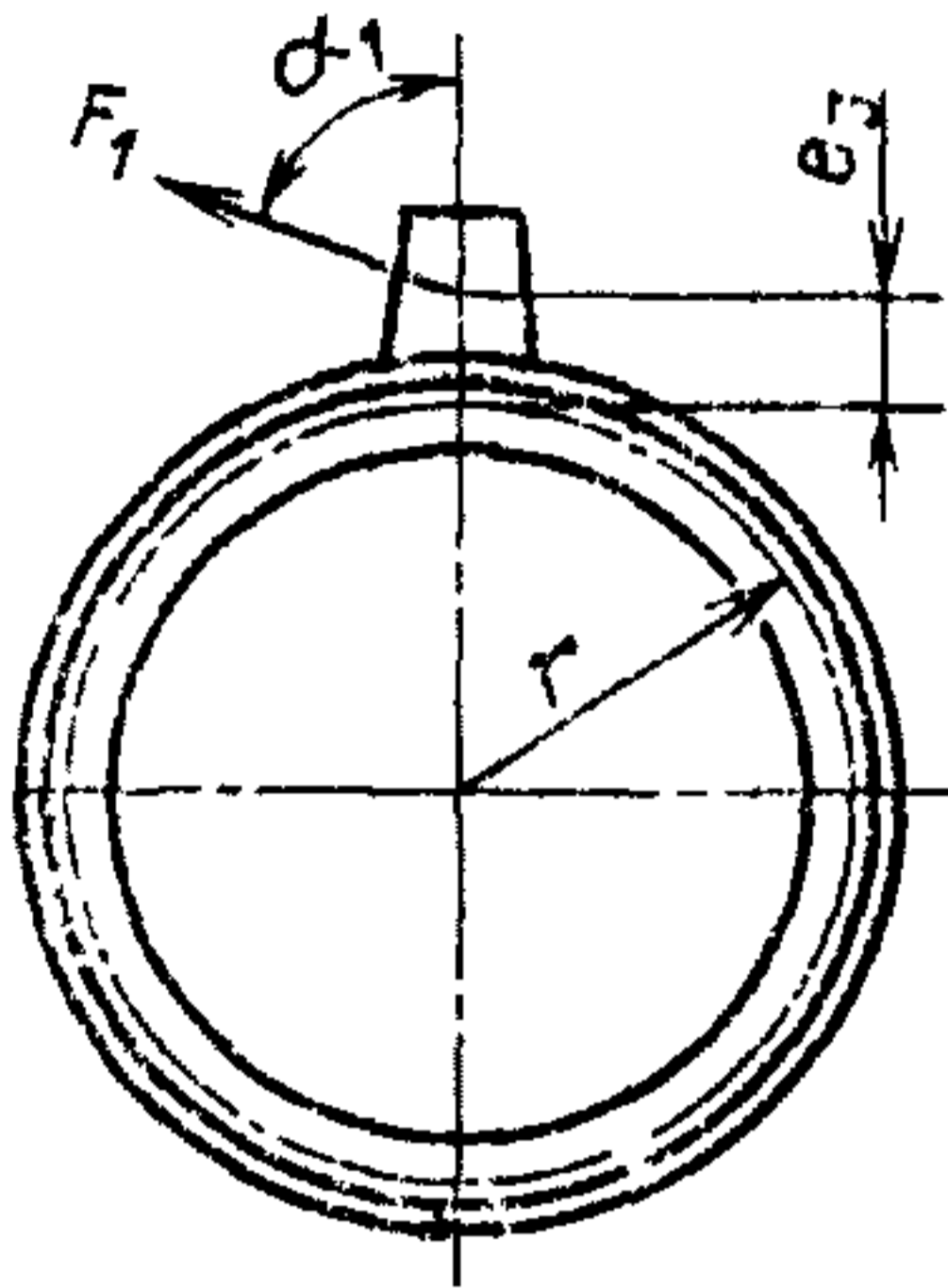
Несущее ушко, приваренное в окружном направлении



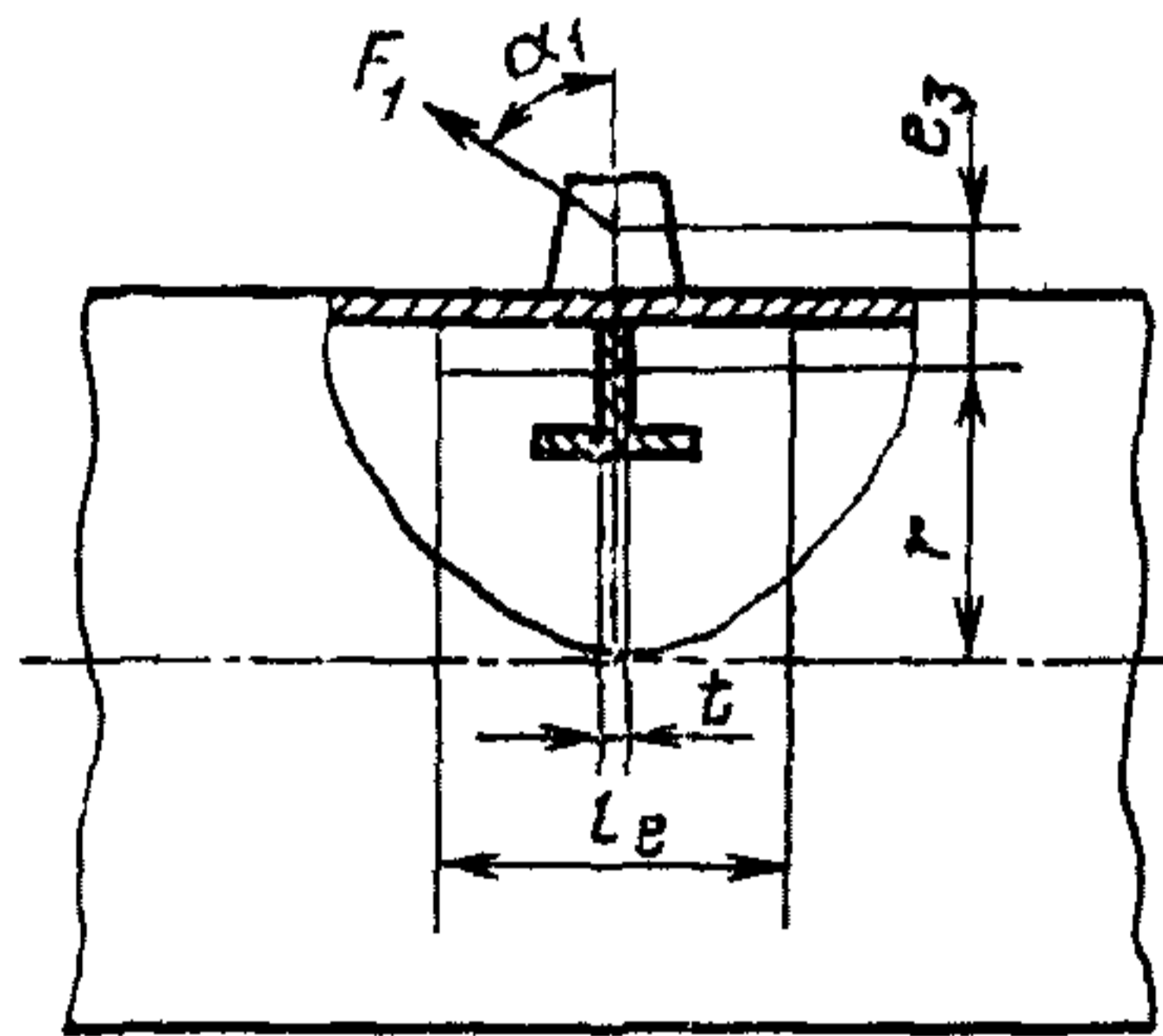
Черт. 2

## ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБЕЧАЙКА, УКРЕПЛЕННАЯ КОЛЬЦОМ ЖЕСТКОСТИ

Несущее ушко, приваренное в окружном направлении

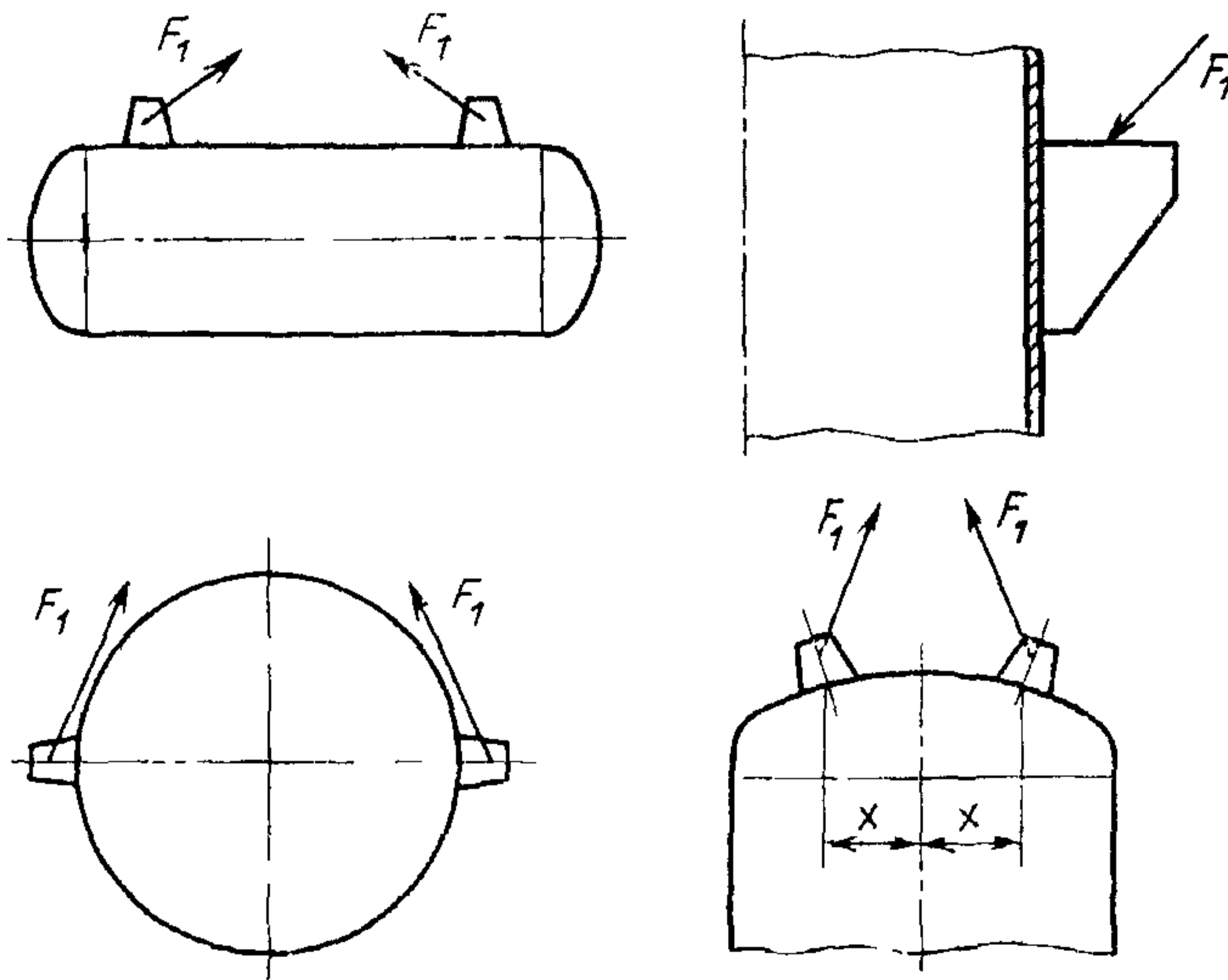


Несущее ушко, приваренное в продольном направлении



Черт. 3

### Примеры применения ушек



Черт. 4

## 2.2. Область применения расчетных формул

2.2.1. Расчетные формулы применяют, когда

$$\frac{s-c}{D_R} \ll 0,05.$$

При наличии подкладного листа

$$\begin{aligned} b_3 &\ll 1,5b_1, \\ s_2 &\geq s. \end{aligned}$$

2.2.2. Нагрузка действует в плоскости несущего ушка.

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

## 2.3. Расчетные усилия

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

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

2.4. Проверка несущей способности обечайки, не подкрепленной элементами жесткости

2.4.1. Несущую способность обечайки в месте приварки несущего ушка без подкладного листа следует проверять по формуле

$$F_1 \ll [F]_1 = \frac{[\sigma_t](s-c)^2}{|6K_3 \cos \alpha_1| + \frac{12e_1}{b_1} K_4 |\sin \alpha_1 - \frac{e_2}{e_1} \cos \alpha_1|}. \quad (13)$$

2.4.2. Несущую способность обечайки в месте приварки несущего ушка с подкладным листом следует проверять по формуле

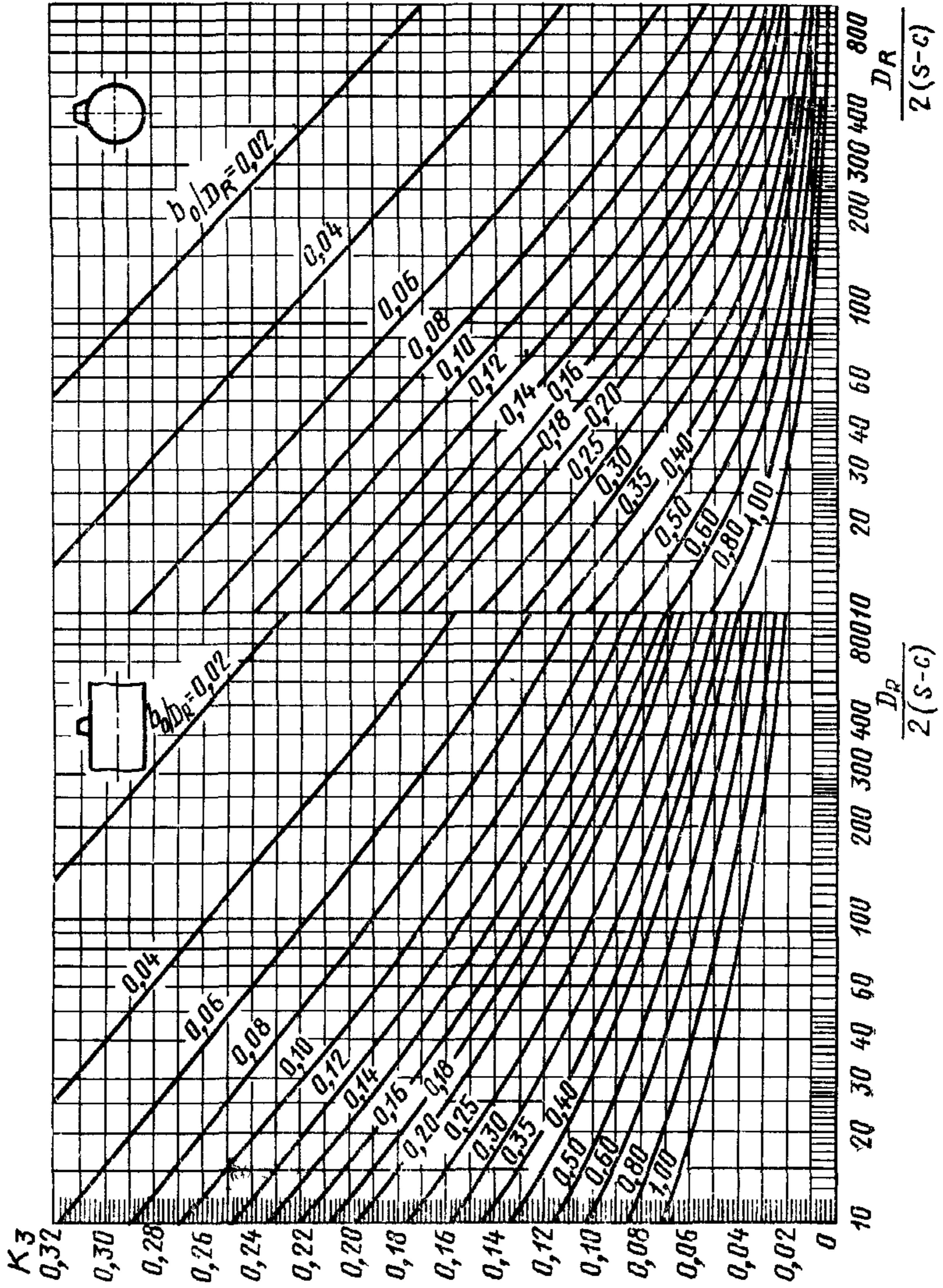
$$F_1 \ll [F]_1 = \frac{K_5 [\sigma_t](s-c)^2}{|6K_3 \cos \alpha_1| + \frac{12(e_1+s_2)}{b_3} K_4 |\sin \alpha_1 - \frac{e_2}{e_1+s_2} \cos \alpha_1|}. \quad (14)$$

2.4.3. Коэффициенты  $K_3$  и  $K_4$  определяют по черт. 5 и 6,  $b_0$  принимают

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

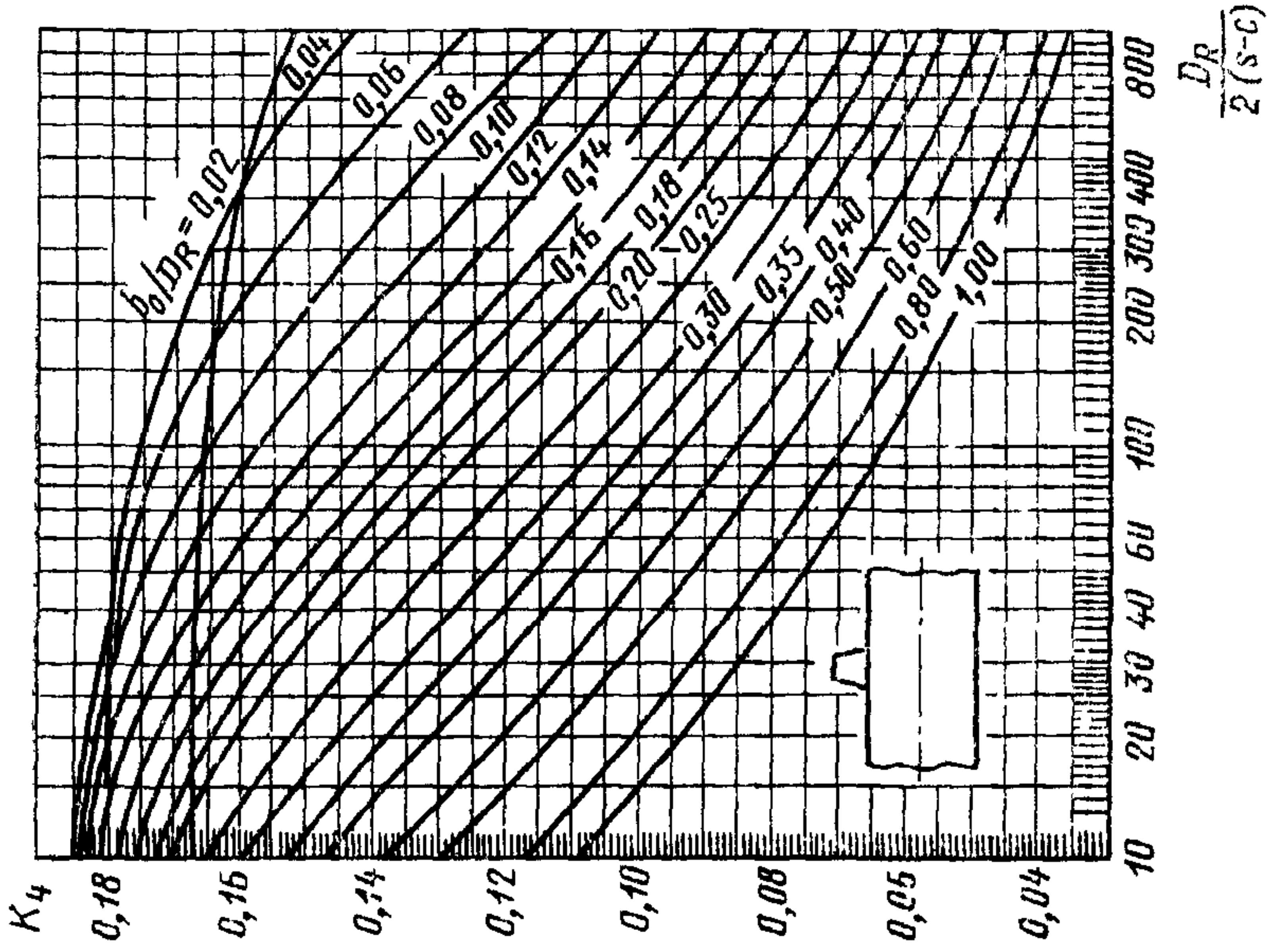
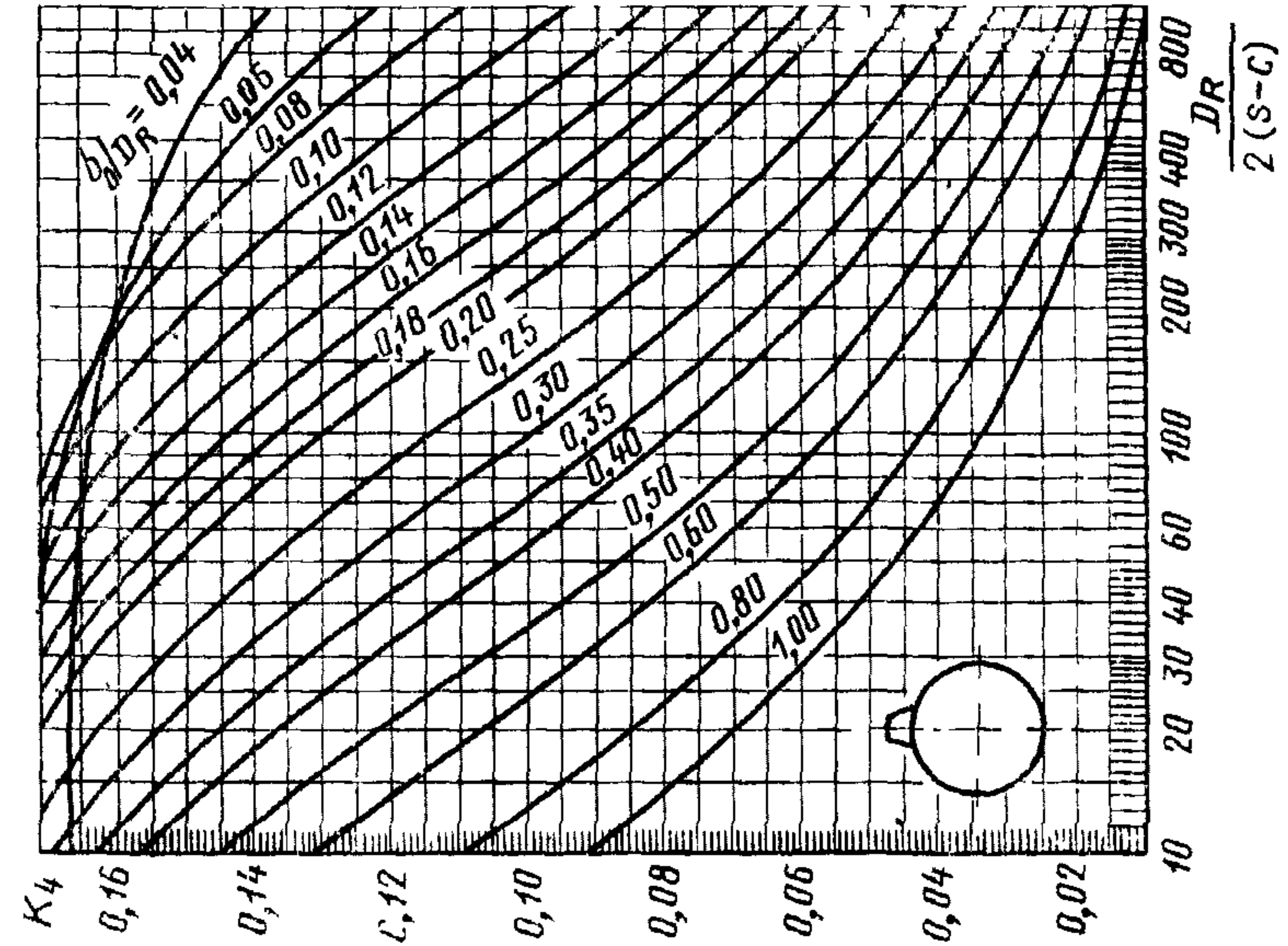
Коэффициент  $K_5$  принимают в соответствии с черт. 7.2.4.4.  $[\sigma_t]$  — предельное напряжение изгиба по формуле (1)  $K_1$  вычисляют со следующими значениями  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$ .Для осевых несущих ушек цилиндрических и конических обечайек принимают  $\vartheta_1 = 0,2$ ;  $\vartheta_2$  вычисляют по формуле (2),  $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m\gamma}$  вычисляют по формуле (5).

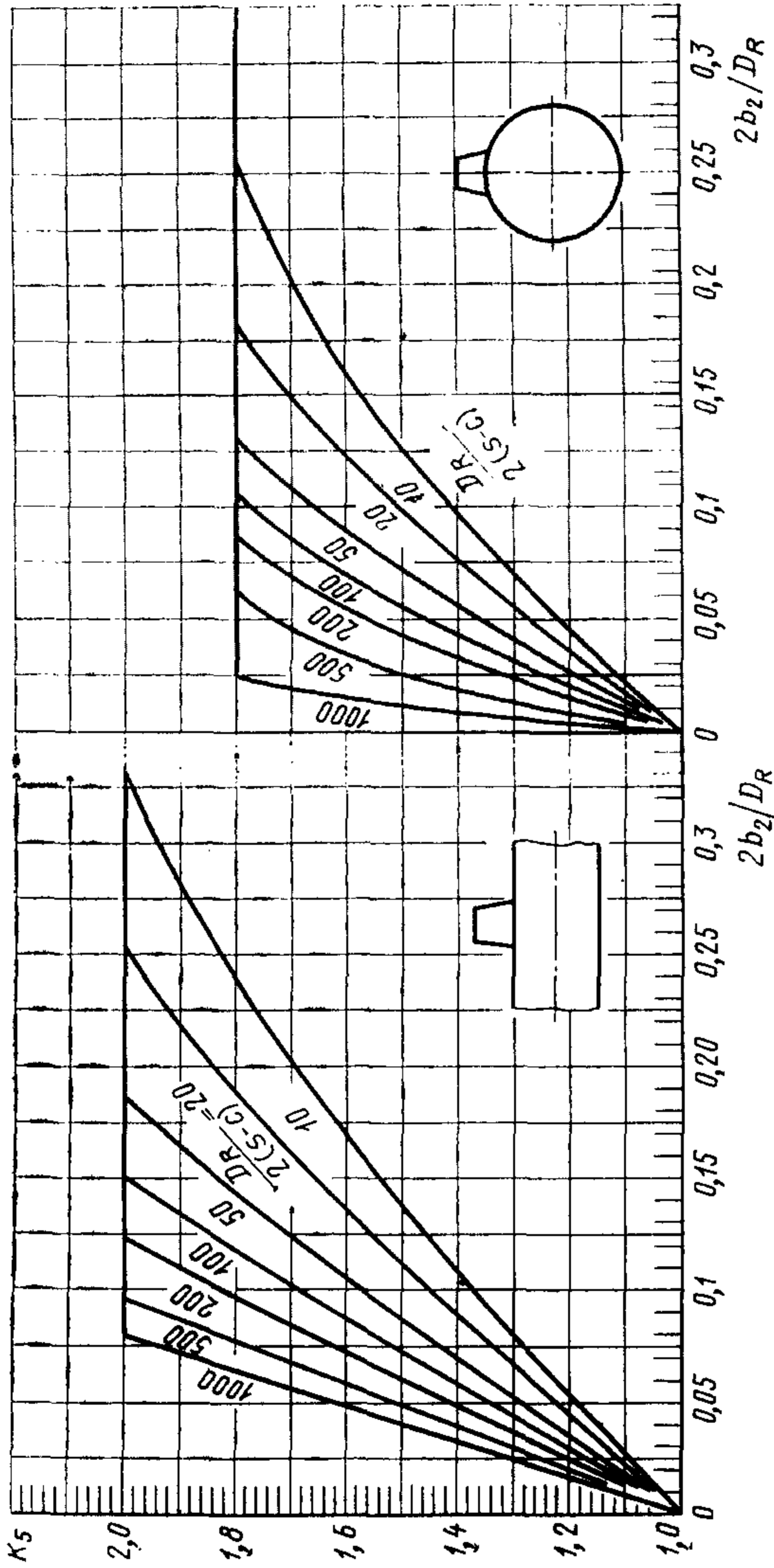


Коэффициент  $K_3$ 

Черт. 5

Коэффициент  $K_4$



Коэффициент  $K_5$ 

$$\ln(y-1) = 1,0848 - 2,0892x + 0,32775 \cdot \ln z + 1,09 \cdot \ln x;$$

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

$$K_5 = \min\{1,8; y\}$$

$$\ln(y-1) = 1,0882 - 1,4216x + 0,26544 \cdot \ln z + 1,11 \ln x,$$

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

$$K_5 = \min\{2,0; y\}$$

Для тангенциальных несущих ушек цилиндрических и конических обечаек принимают  $\vartheta_1 = 0,3$ ;  $\vartheta_2$  вычисляют по формуле (2),  $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{mx}$  вычисляют по формуле (3) или (4) соответственно.

2.4.5. 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, в обоих случаях принимая  $\bar{\sigma}_m$  по формуле (6). Решающим будет меньшее значение  $[F]_1$ .

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

$$[\sigma] = \begin{cases} 1,39[\sigma]n_T & \text{— для несущих ушек, приваренных вдоль цилиндрических и конических обечаек;} \\ 1,28[\sigma]n_T & \text{— для несущих ушек, приваренных к выпуклым днищам или к цилиндрическим и коническим обечайкам в окружном направлении.} \end{cases}$$

2.5. Проверка несущей способности цилиндрической обечайки, подкрепленной кольцом жесткости, расположенным непосредственно под несущим ушком

2.5.1. При расчете  $r$ ,  $e_3$ ,  $W_1$  и  $W_k$  учитывают эффективную несущую длину  $l_e$  обечайки, определяемую по формуле

$$l_e = t + 1,1\sqrt{D(s-c)}. \quad (15)$$

2.5.2. Несущую способность следует проверять по формуле

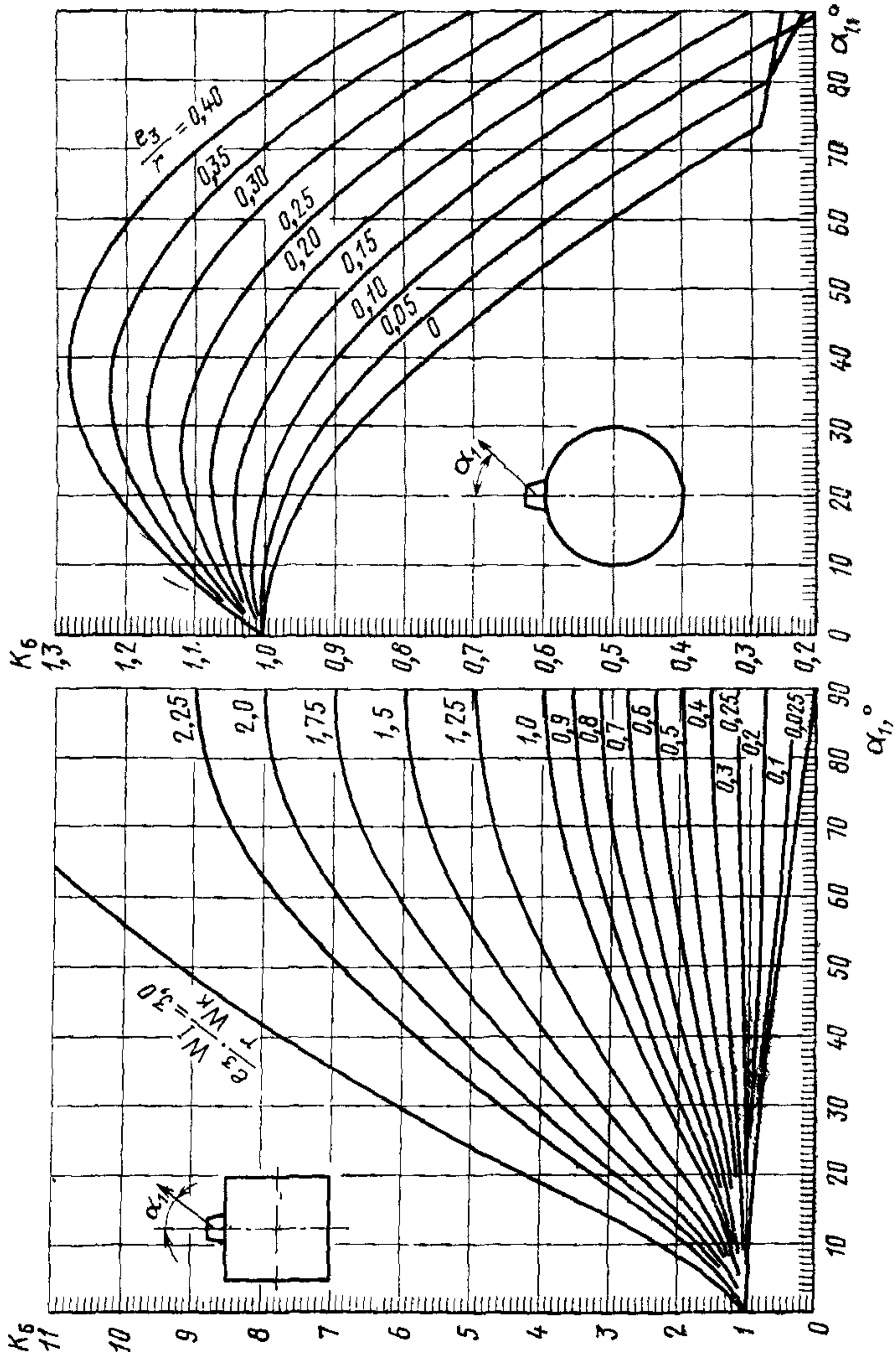
$$F_1 \ll [F]_1 = \frac{4[\sigma]_K W_1}{K_6 r}. \quad (16)$$

Коэффициент  $K_6$  определяют по формулам (17) или (18) или по черт. 8.

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

$$K_6 = \begin{cases} \sqrt{\cos^2 \alpha_1 + \left(\frac{4e_3}{r} \cdot \frac{W_1}{W_k}\right)^2 \sin^2 \alpha_1} & \text{— для несущих ушек, приваренных вдоль обечайки} \\ \max \left\{ \begin{array}{l} |\cos \alpha_1| + 2\frac{e_3}{r} |\sin \alpha_1| \\ (0,5 + 10\frac{e_3}{r}) |\cos \alpha_1| + |\sin \alpha_1| \\ \hline 4 + 10\frac{e_3}{r} \end{array} \right\} & \text{— для несущих ушек, приваренных в окружном направлении обечайки.} \end{cases} \quad (17) \quad (18)$$

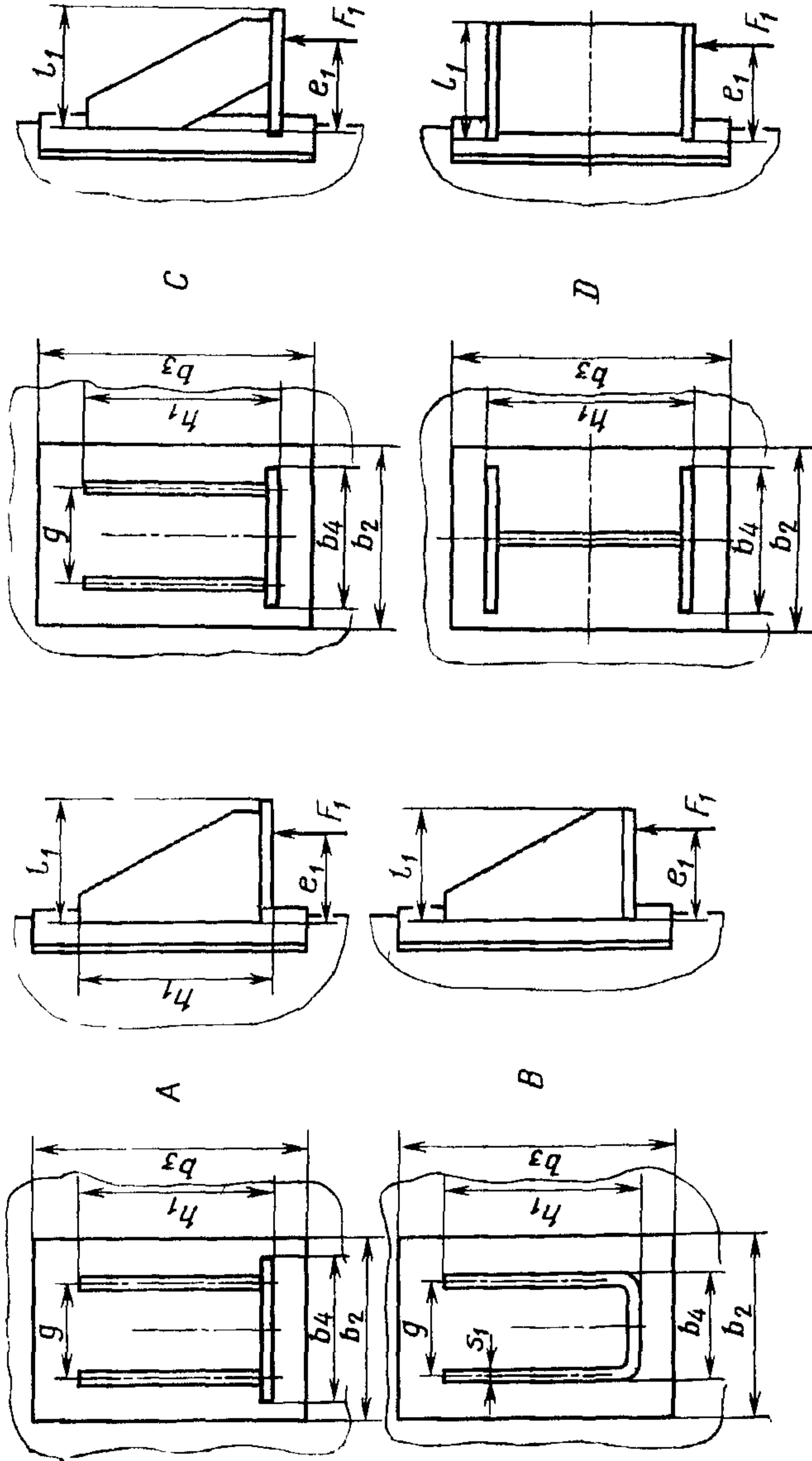
Коэффициент  $K_6$



Цепр. 8

3. ОПОРНЫЕ ЛАПЫ

3.1. Расчетные модели приведены на черт. 9.



Черт. 9

### 3.2. Область применения расчетных формул

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

3.2.2. Расчетные формулы применяют, когда

$$\frac{s-c}{D_R} \ll 0,05.$$

При наличии подкладного листа

$$\begin{aligned} g &\geq 0,2h_1; \\ b_2 &\geq 0,6b_3; \\ b_3 &\leq 1,5h_1; \\ s_2 &\geq s. \end{aligned}$$

### 3.3. Расчетные усилия

3.3.1. Усилие, действующее на опорную лапу, определяют по формуле

$$F_1 = \left\{ \begin{array}{l} \frac{G}{2} + \frac{M}{D+2(e_1+s+s_2)} \text{ — для } n=2 \text{ и } n=4; \\ \frac{G}{3} + \frac{M}{0,866[D+2(e_1+s+s_2)]} \text{ — для } n=3. \end{array} \right\} \quad (19)$$

Если неизвестна точная  $e_1$ , то принимают  $e_1 = \frac{5}{6} l_1$ .

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

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

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{D+2(e_1+s+s_2)}. \quad (20)$$

### 3.4. Проверка несущей способности обечайки

3.4.1. Несущую способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа следует проверять по формуле

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{[\sigma_t] h_1 (s-c)^2}{K_7 e_1}. \quad (21)$$

3.4.2. При  $\frac{g}{h_1} < 0,5$  значение  $[F]_1$ , полученное по формуле (21), необходимо умножить на  $\left(0,5 + \frac{g}{h_1}\right)$ .

3.4.3. Коэффициент  $K_7$  определяют:

в соответствии с черт. 10 — для конструкций А и С;  
в соответствии с черт. 11 — для конструкции В;  
в соответствии с черт. 12 — для конструкции Д.

3.4.4.  $[\sigma_t]$  — предельное напряжение изгиба определяют по формуле (1).

$K_1$  вычисляют при  $\vartheta_1=0,3$ ;  $\vartheta_2$  — по формуле (2),  $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{my}$  по формуле (5) — для конструкций А, В и С;

$\vartheta_1=0,3$ ;  $\vartheta_2$  определяют по формуле (2) при  $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{mx}$  по формуле (3) или (4) соответственно — для конструкций D.

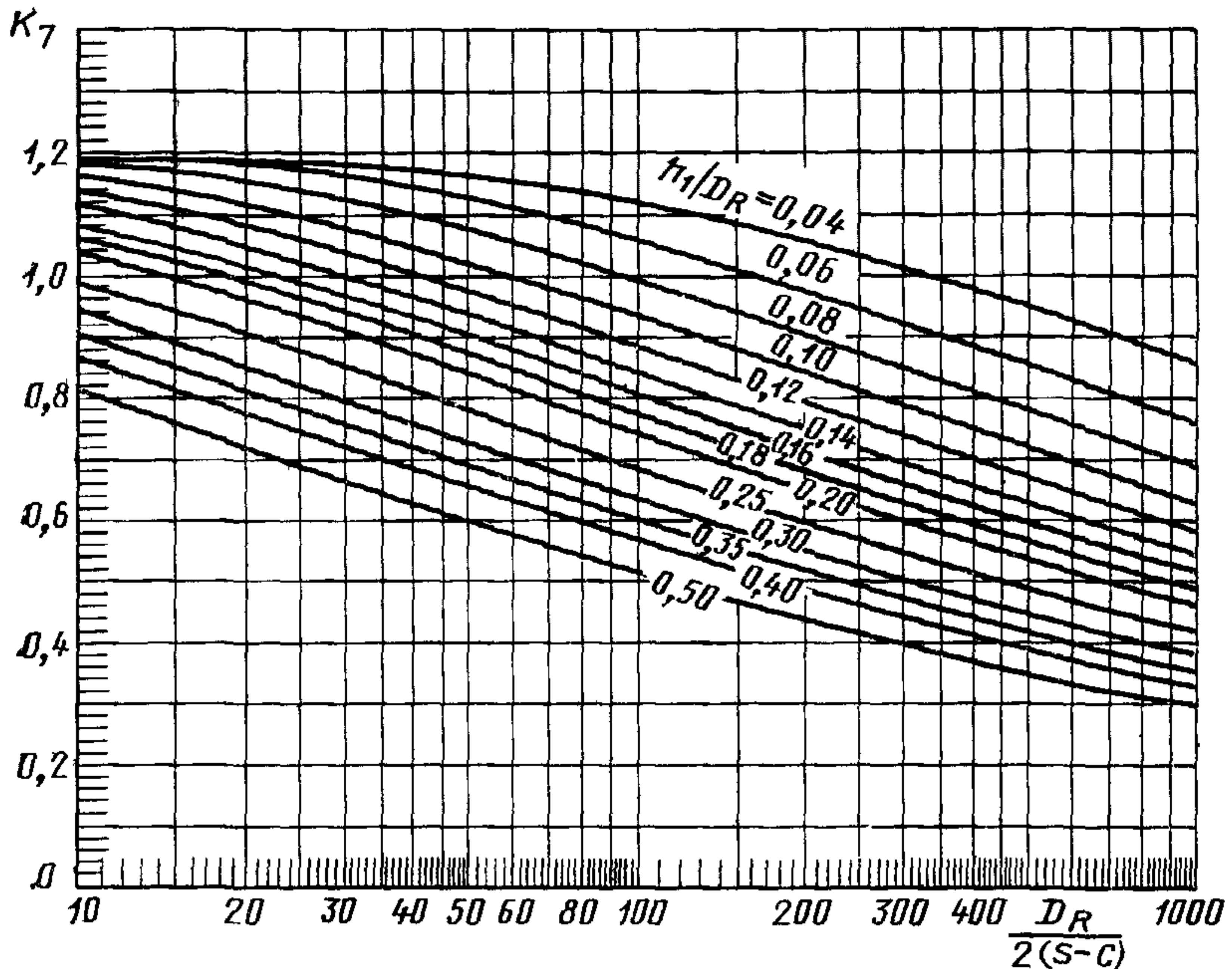
3.4.5. Несущую способность обечайки в месте приварки опорной лапы с подкладным листом следует проверять по формуле

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{[\sigma_t] b_3 (s-c)^2}{K_8 (e_1 + s_2)} \quad (22)$$

3.4.6. При  $\frac{b_2}{b_3} < 0,6$  значение  $[F]_1$ , полученное по формуле (22), необходимо умножить на  $\left(0,4 + \frac{b_2}{b_3}\right)$ .

3.4.7. Коэффициент  $K_8$  определяют в соответствии с черт. 13.

Коэффициент  $K_7$  для конструкций А и С



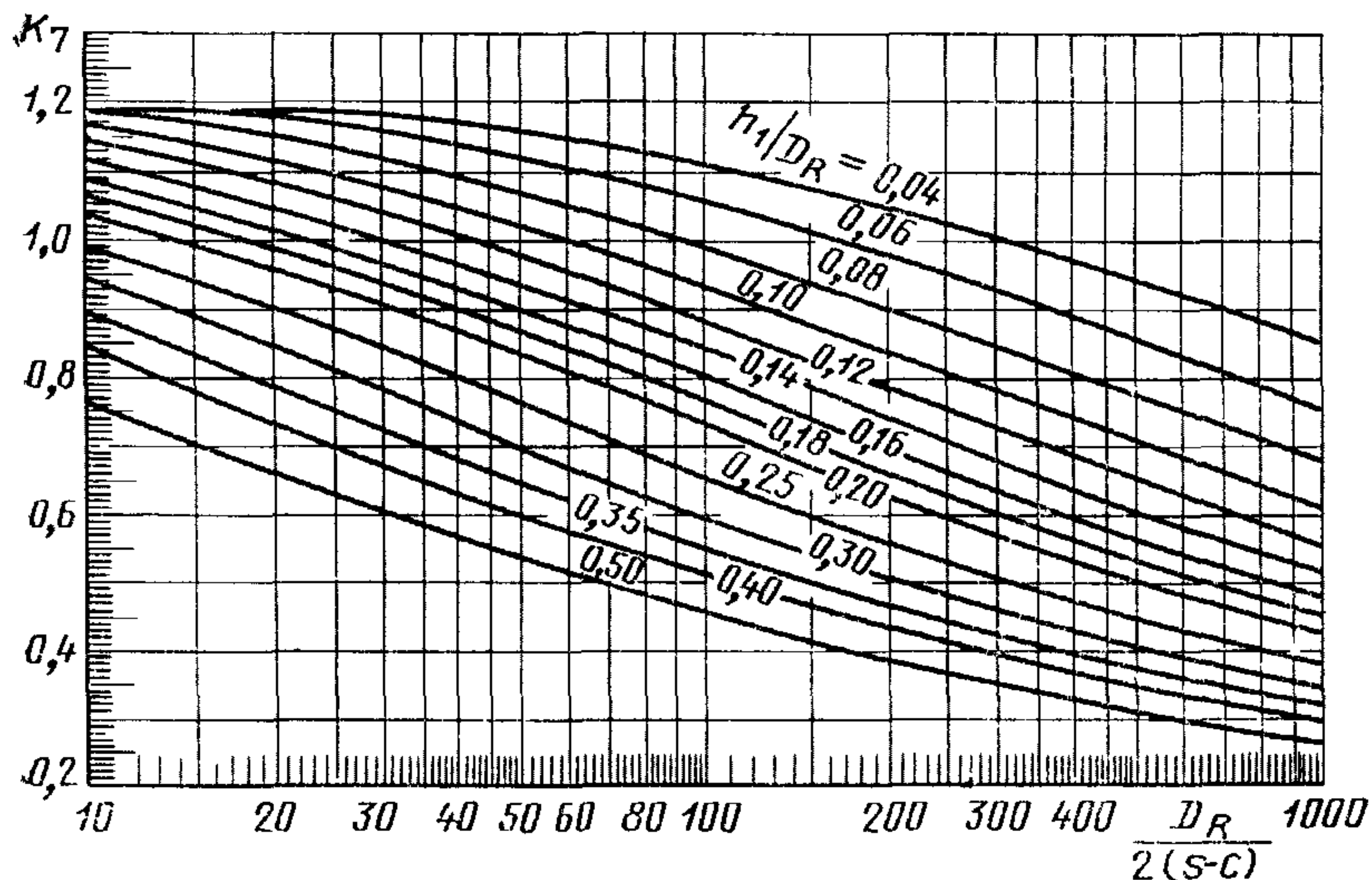
$$\ln z = (-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln \left( \frac{D_R}{2(s-c)} \right);$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_R};$$

$$K_7 = z$$



Коэффициент  $K_7$  для конструкции В

$$\ln u = (-26,791 - 6,936x - 36,330y - 3,503x^2 - 3,357xy + 2,786y^2 + 0,2267x^3 + 0,2831x^2y + 0,3851xy^2 + 1,370y^3) \cdot 10^{-2},$$

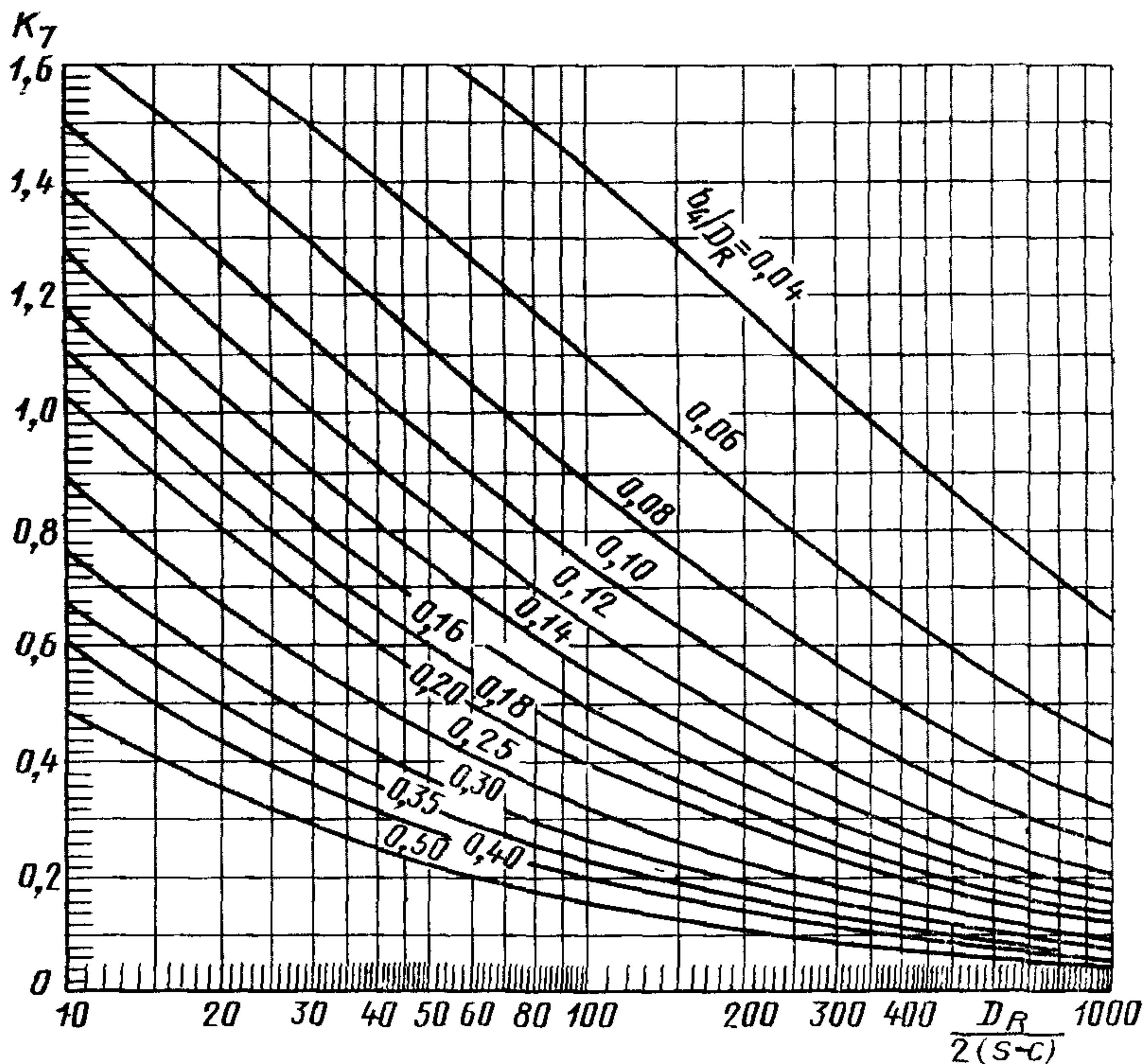
$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right); \quad y = \ln \frac{h_1}{D_R};$$

$$\ln z = (-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3) \cdot 10^{-2};$$

$$K_7 = \min(u; z)$$

Черт. 11

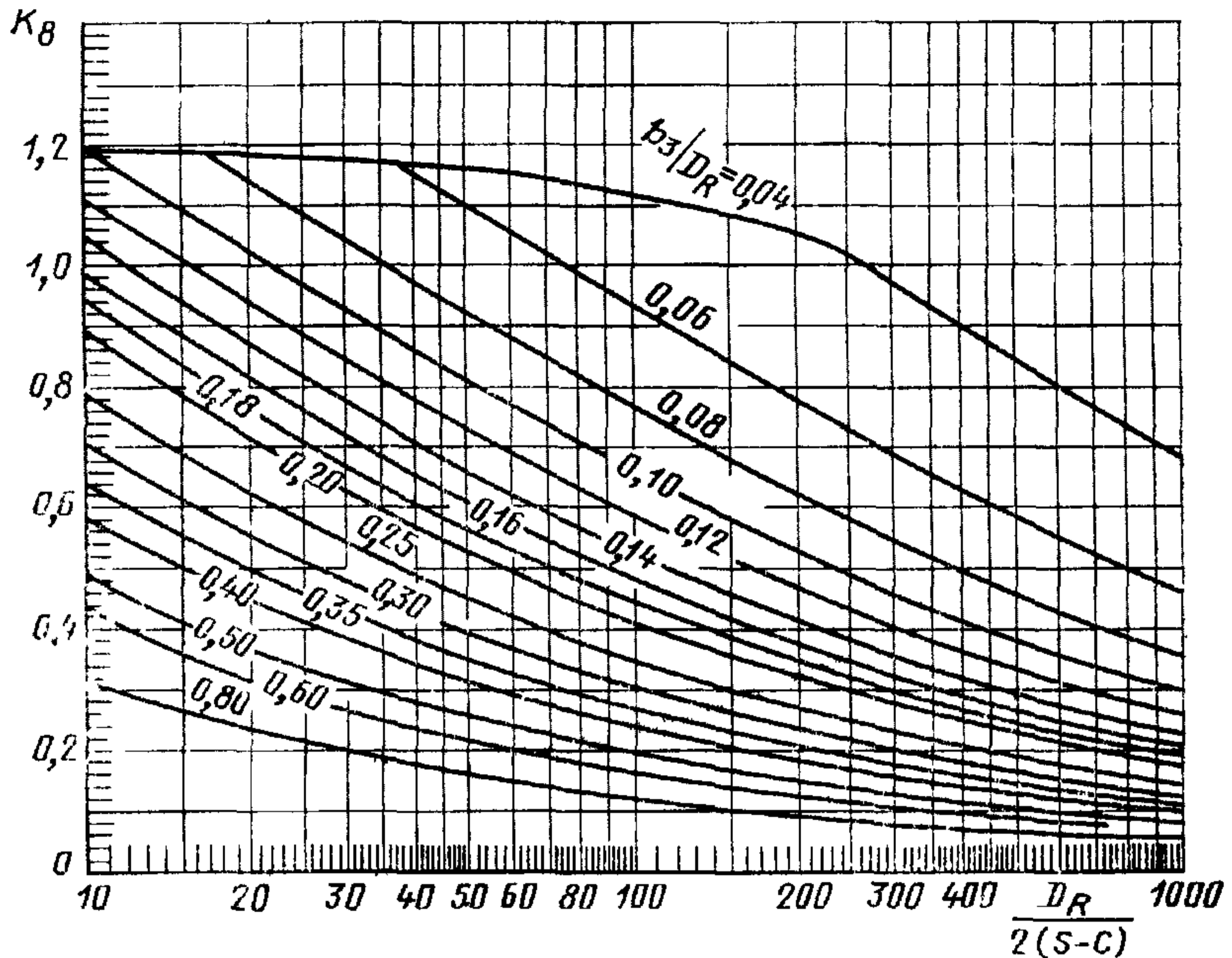
Коэффициент  $K_7$  для конструкции D



$$\ln K_7 = (-29,532 - 45,958x - 91,759y - 1,801x^2 - 12,062xy - 18,872y^2 + 0,1551x^3 + 1,617x^2y + 3,736xy^2 + 1,425y^3) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right); \quad y = \ln \frac{b_4}{D_R}$$

Черт. 12

Коэффициент  $K_8$ 

$$K_8 = \min(v; z)$$

$$\ln v = (-49,919 - 39,119x - 107,01y - 1,693x^2 - 11,920xy - 39,276y^2 + 0,237x^3 + 1,608x^2y + 2,761xy^2 - 3,854y^3) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right); \quad y = \ln\frac{b_3}{D_R};$$

$$\ln z = (-5,964 - 11,395x - 18,984y_1 - 2,413x^2 - 7,286xy_1 - 2,042y_1^2 + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y_1 + 0,8469xy_1^2 + 1,428y_1^3) \cdot 10^{-2};$$

$$y_1 = \ln\frac{h_1}{D_R}$$

Черт. 13

3.4.8.  $[\sigma_i]$  — предельное напряжение изгиба определяют по формуле (1).

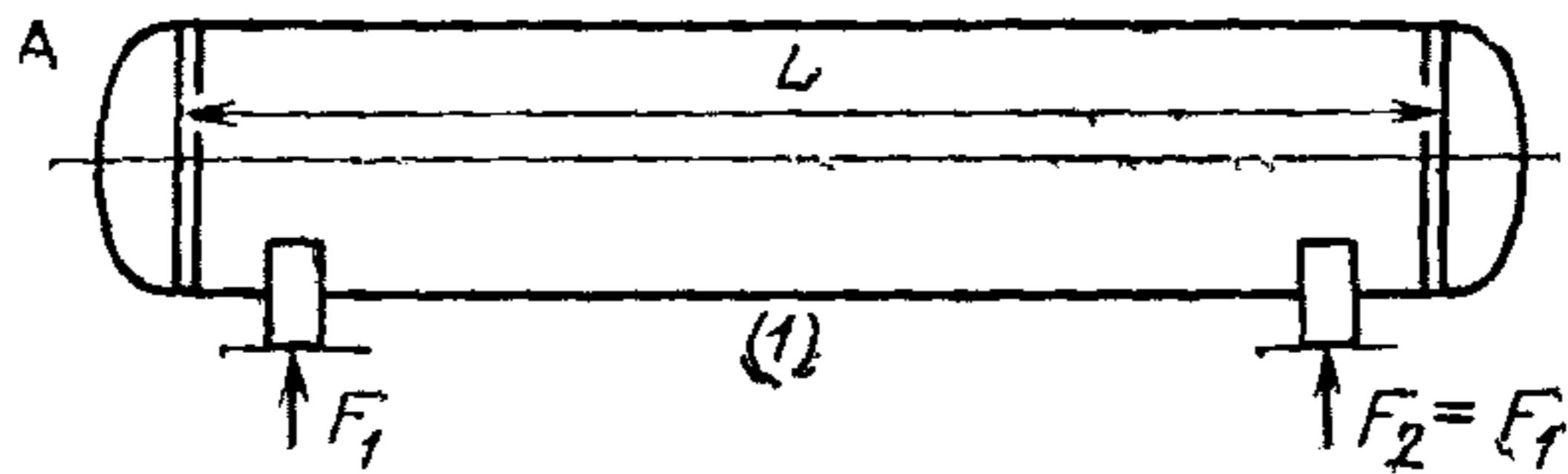
$K_1$  вычисляют при  $\vartheta_1 = 0,4$ ;  $\vartheta_2$  — по формуле (2);  $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m\gamma}$  по формуле (5).

## 4. СЕДЛОВЫЕ ОПОРЫ

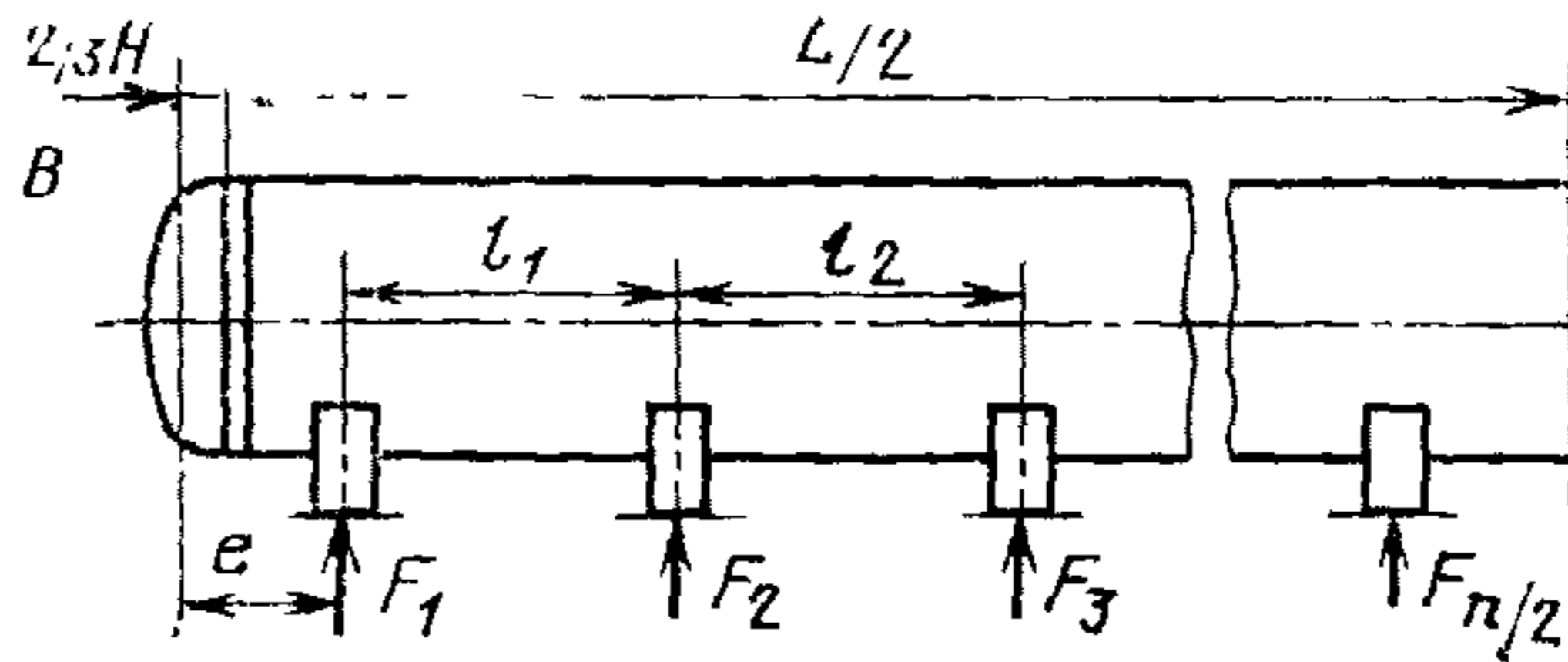
4.1. Расчетные модели приведены на черт. 14 и 15.

**СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ СЕДЛОВЫХ ОПОР ДЛЯ СОСУДОВ**

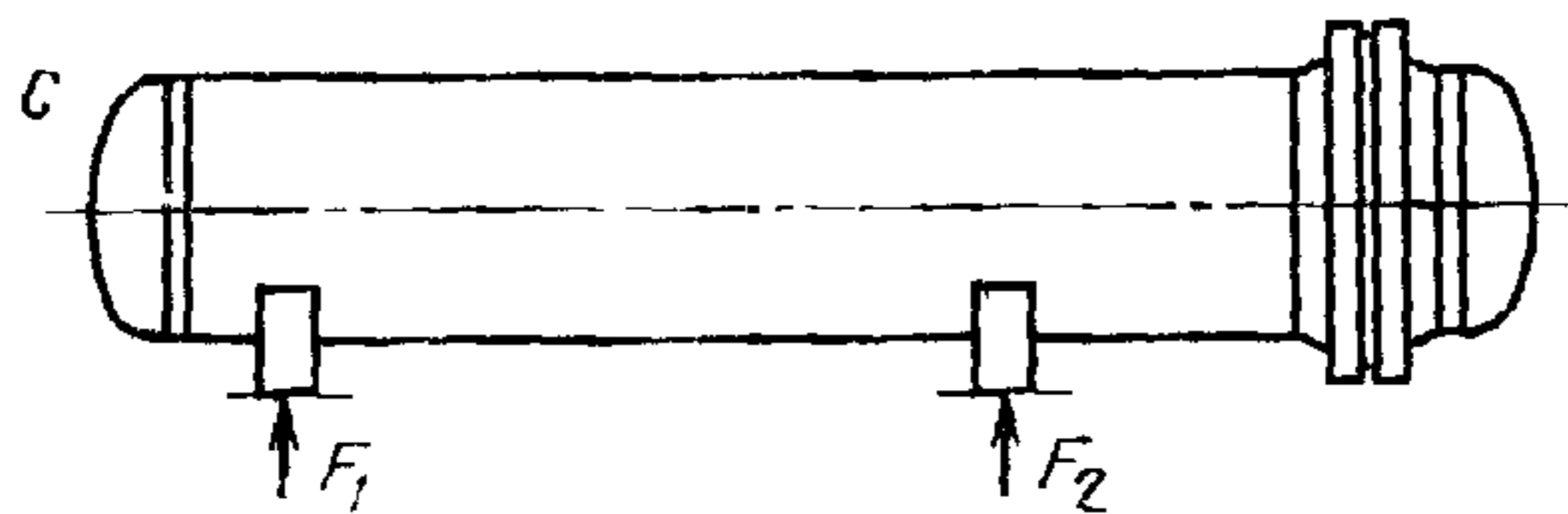
**Сосуд, опирающийся симметрично на две седловые опоры**



**Сосуд, опирающийся симметрично на три или более опоры**

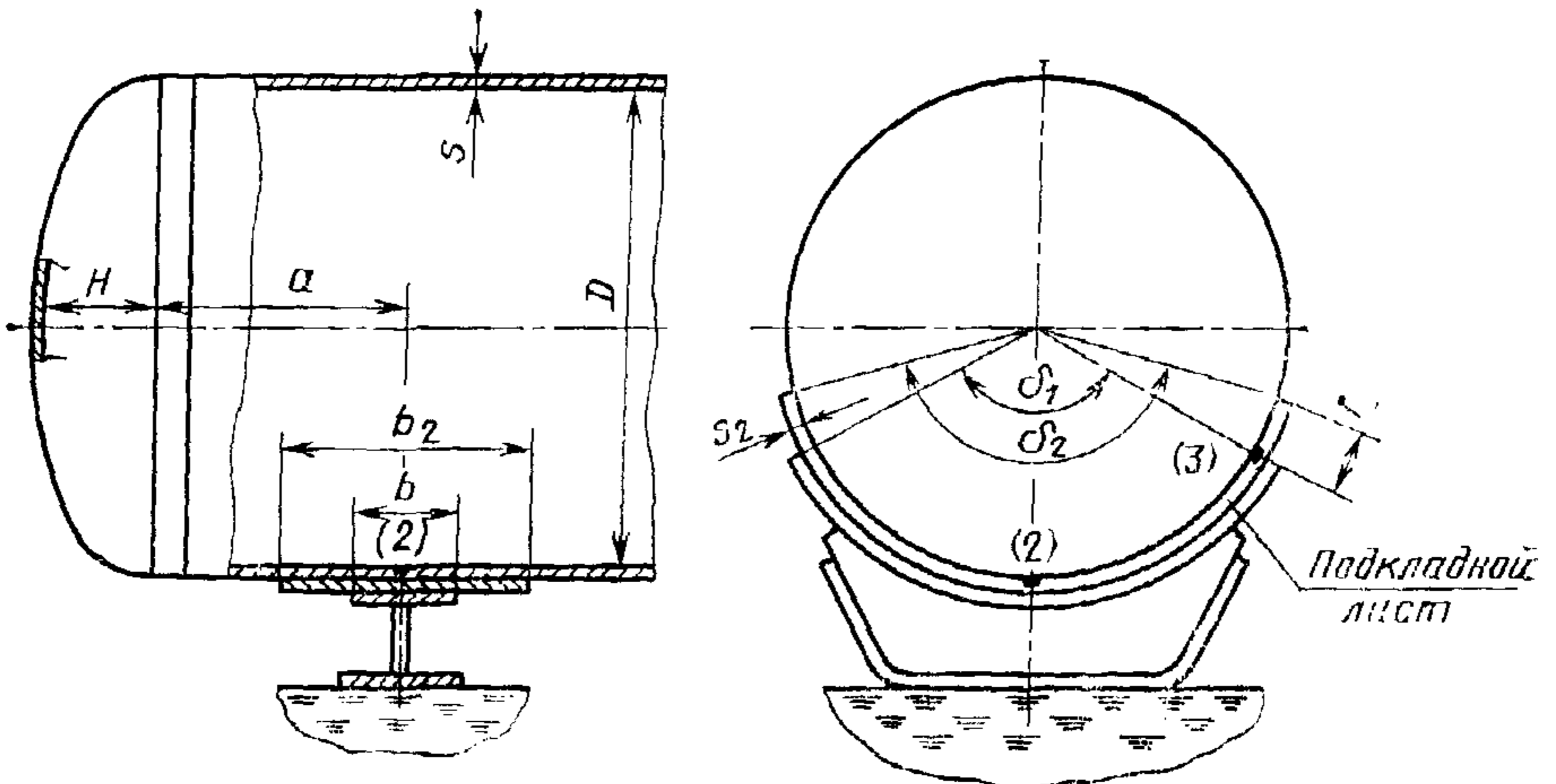


**Сосуд, опирающийся несимметрично**

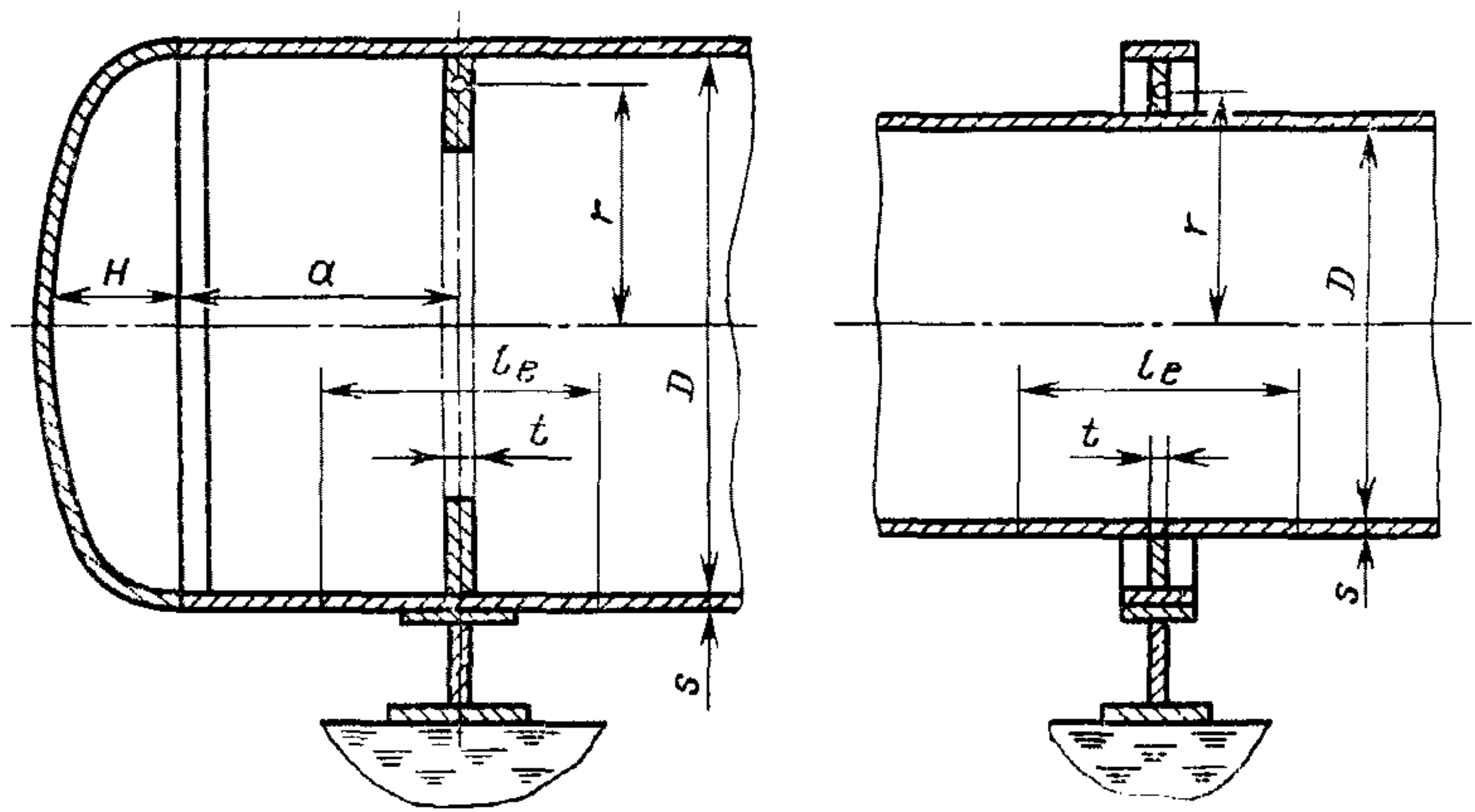


Черт. 14

**Цилиндрическая обечайка, не подкрепленная элементами жесткости**



## Цилиндрическая обечайка, подкрепленная кольцами жесткости



Черт. 15

## 4.2. Область применения расчетных формул

## 4.2.1. Расчетные формулы применяют, когда

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

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

При наличии подкладных листов

$$s_2 \geq s,$$

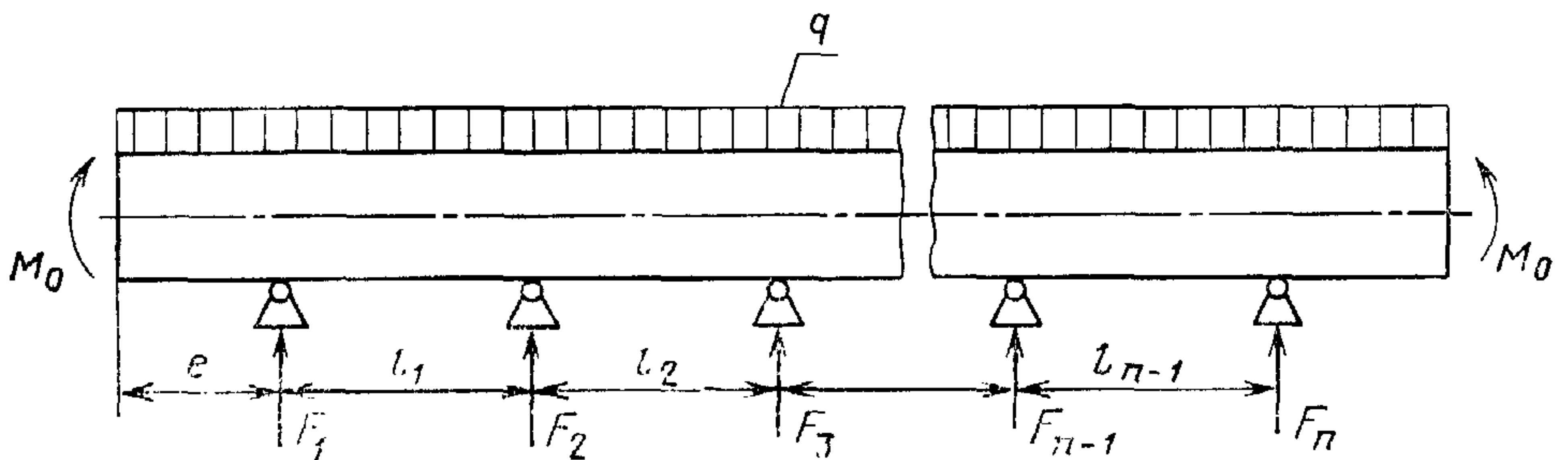
$$f \geq 0,1D.$$

## 4.3. Расчетные усилия, расчетная схема

## 4.3.1. Расчетная схема.

В качестве основной расчетной схемы для определения опорных усилий, моментов и поперечных усилий принимают балку кольцевого сечения, шарнирно опертую в местах расположения опор (черт. 16).

## Расчетная схема



Черт. 16

Нагрузки балки определяют по формулам (23) и (24).

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} ; \quad (23)$$

$$M_0 = q \frac{D^2}{16} . \quad (24)$$

4.3.2. Опорное усилие для схем опирания А и В (см. черт. 14):

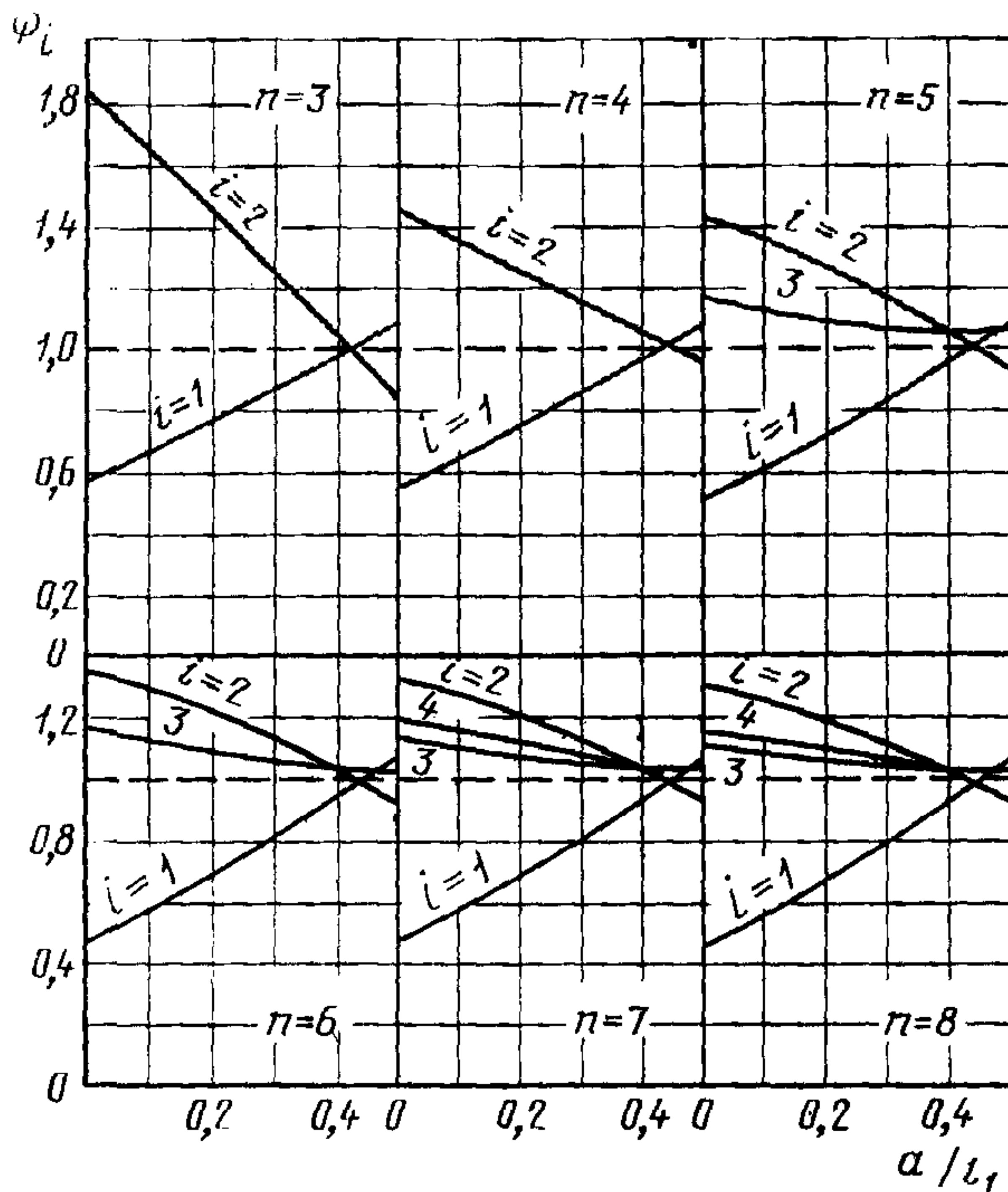
$$F_i = \psi_i \frac{G}{n} . \quad (25)$$

Коэффициент  $\psi_i = \begin{cases} 1,0 - \text{для } n=2 \\ \text{по черт. 17} - \text{для } 3 \leq n \leq 8. \end{cases}$

4.3.3. Изгибающие моменты и поперечные усилия.

Изгибающие моменты следует определять в сечениях обечайки над опорами  $M_i$  и между опорами  $M_{i,j}$  в сечениях, где они имеют наибольшие значения.

Коэффициент  $\psi_i$



Черт. 17

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

4.3.3.1. Момент  $M_i$  над  $i$ -й опорой

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0 \text{ — для схемы опирания А;} \quad (26)$$

$$M_i = q \frac{l_1^2}{8} \text{ — для схемы опирания В.} \quad (27)$$

$M_i$  — для схемы опирания С следует определять по специальным методам расчета.

4.3.3.2. Максимальный момент  $M_{ij}$  между опорами  $i$  и  $j$

$$M_{12} = M_0 + F_1 \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left( \frac{L}{2} + \frac{4}{3}H \right)^2 \text{ — для схемы опирания А,} \quad (28)$$

$M_{ij}$  — для схемы опирания В — не определяется,

$M_{ij}$  — для схемы опирания С следует определять по специальным методам расчета.

Расчет по п. 4.3.3.2 следует проводить, если

$$\max\{M_{ij}\} > \max\{M_i\}. \quad (29)$$

4.3.3.3. Поперечное усилие в сечении оболочки над  $i$ -й опорой

$$Q_i = \begin{cases} \frac{L-2a}{4} & \text{— для схемы опирания А,} \\ L + \frac{4}{3}H \\ \approx 0,5F_i & \text{— для схемы опирания В,} \\ \max\{Q_{i+}; Q_{i-}\} & \text{— для схемы опирания С.} \end{cases} \quad (30)$$

4.4. Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверять для схемы опирания А; а для схемы опирания С — при выполнении условия (29).

4.4.1. Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением

Условие прочности

$$\frac{pD}{4(s-c)} + \frac{4M_{ij}K_9}{\pi D^2(s-c)} \leq [\sigma]\varphi, \quad (31)$$

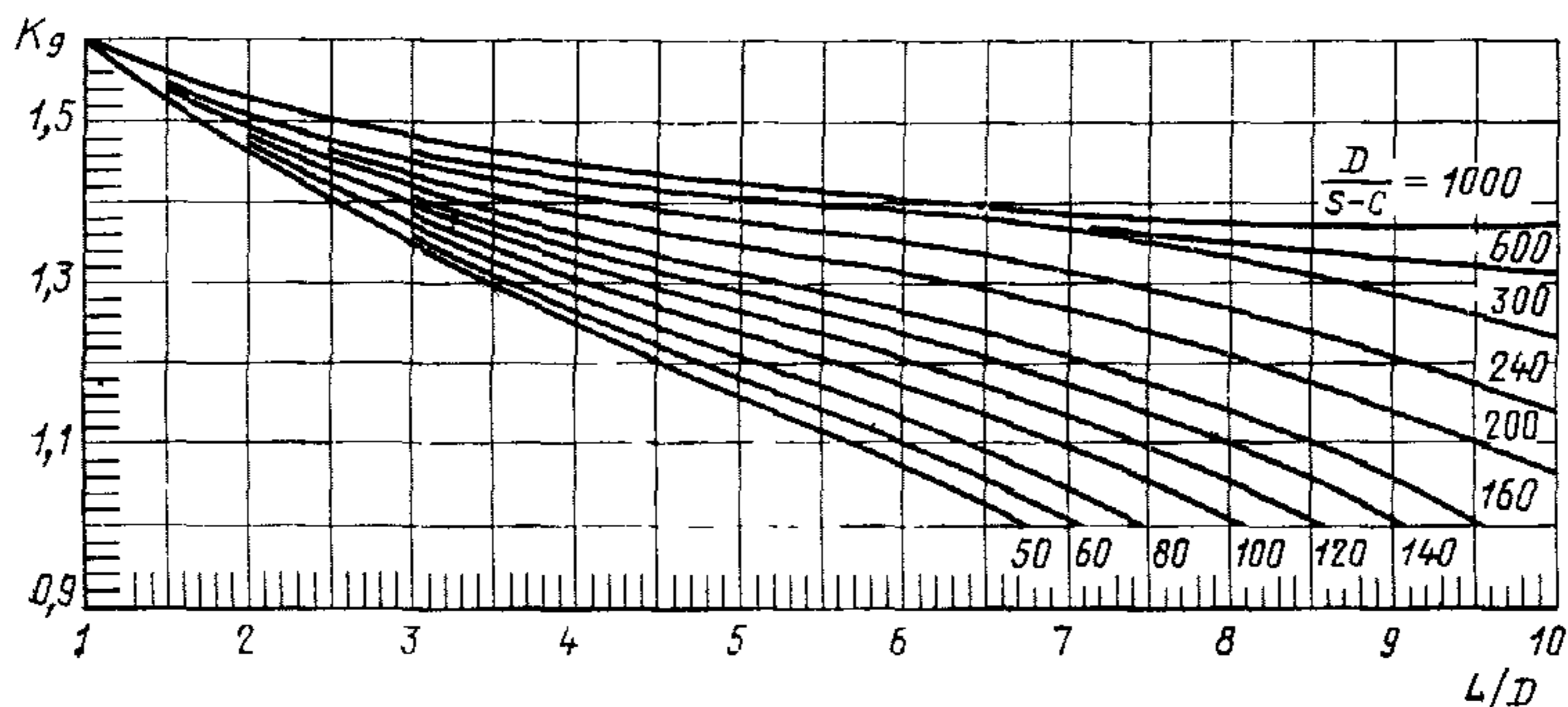
где  $M_{ij}$  — изгибающий момент по п. 4.3.3.2;

$M_{ij} = M_{12}$  — для схемы опирания А;

$K_9$  — коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью по черт. 18.

Условие устойчивости

$$\frac{[M_{ij}]}{[M]} \leq 1,0. \quad (32)$$

Коэффициент  $K_9$ 

$$z = 1,6 - 0,20924(x-1) + 0,028702x(x-1) + 0,4795 \cdot 10^{-3}y(x-1) - \\ - 0,2391 \cdot 10^{-6}xy(x-1) - 0,29936 \cdot 10^{-2}(x-1)x^2 - 0,85692 \cdot 10^{-6}(x-1)y^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6}x^2(x-1)y - 0,75955 \cdot 10^{-8}y^2(x-1)x + 0,82748 \cdot \\ \cdot 10^{-4}(x-1)x^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9}(x-1)y^3,$$

$$\text{где } y = \frac{D}{s-c}, \quad x = \frac{L}{D}, \quad K_9 = \max\{z; 1,0\}$$

Черт. 18

#### 4.4.2. Сосуды, работающие под наружным давлением

Условие устойчивости

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{M_{ij}}{[M]} \leq 1,0. \quad (33)$$

где  $[p]$  — определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости.

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

Несущая способность должна быть проверена в нижних точках (2) и (3) (черт. 15).

##### 4.5.1. Параметры системы, общее осевое мембранное напряжение

Параметр, определяемый расстоянием до днища

$$\gamma = 2,83 \frac{a}{D} \sqrt{\frac{s-c}{D}}. \quad (34)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры

$$\beta = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(s-c)}}. \quad (35)$$



Общее осевое мембранное напряжение изгиба, действующее в области опорного узла

$$\bar{\sigma}_{mx} = \frac{4M_i}{\pi D^2(s-c)}, \quad (36)$$

где  $M_i$  — изгибающий момент по п. 4.3.3.1.

#### 4.5.2. Цилиндрическая обечайка без подкладных листов

##### 4.5.2.1. Условие прочности

$$F_i \leq \min\{[F]_2, [F]_3\}, \quad (37)$$

где  $[F]_2$  — допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении следует определять по формуле (38);

$[F]_3$  — допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении следует определять по формуле (39)

$$[F]_2 = \frac{0,7[\sigma_i]_2 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}}, \quad (38)$$

$$[F]_3 = \frac{0,9[\sigma_i]_3 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}}, \quad (39)$$

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

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

$K_{10}$  — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры, по черт. 19;

$K_{12}$ ,  $K_{14}$  — коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата, по черт. 20;

$K_{16}$  — коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища, по черт. 22;

$K_{17}$  — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры, по черт. 23.

##### 4.5.2.2. Проверку устойчивости следует проводить по формуле

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{M_1}{[M]} + \frac{F_e}{[F]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1,0, \quad (40)$$

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

$[p]$  — определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости;

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

$$F_e = F_l \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{(s-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15}, \quad (41)$$

где  $K_{13}$ ,  $K_{15}$  — определяют по черт. 20 или 21 соответственно.

Таблица 1

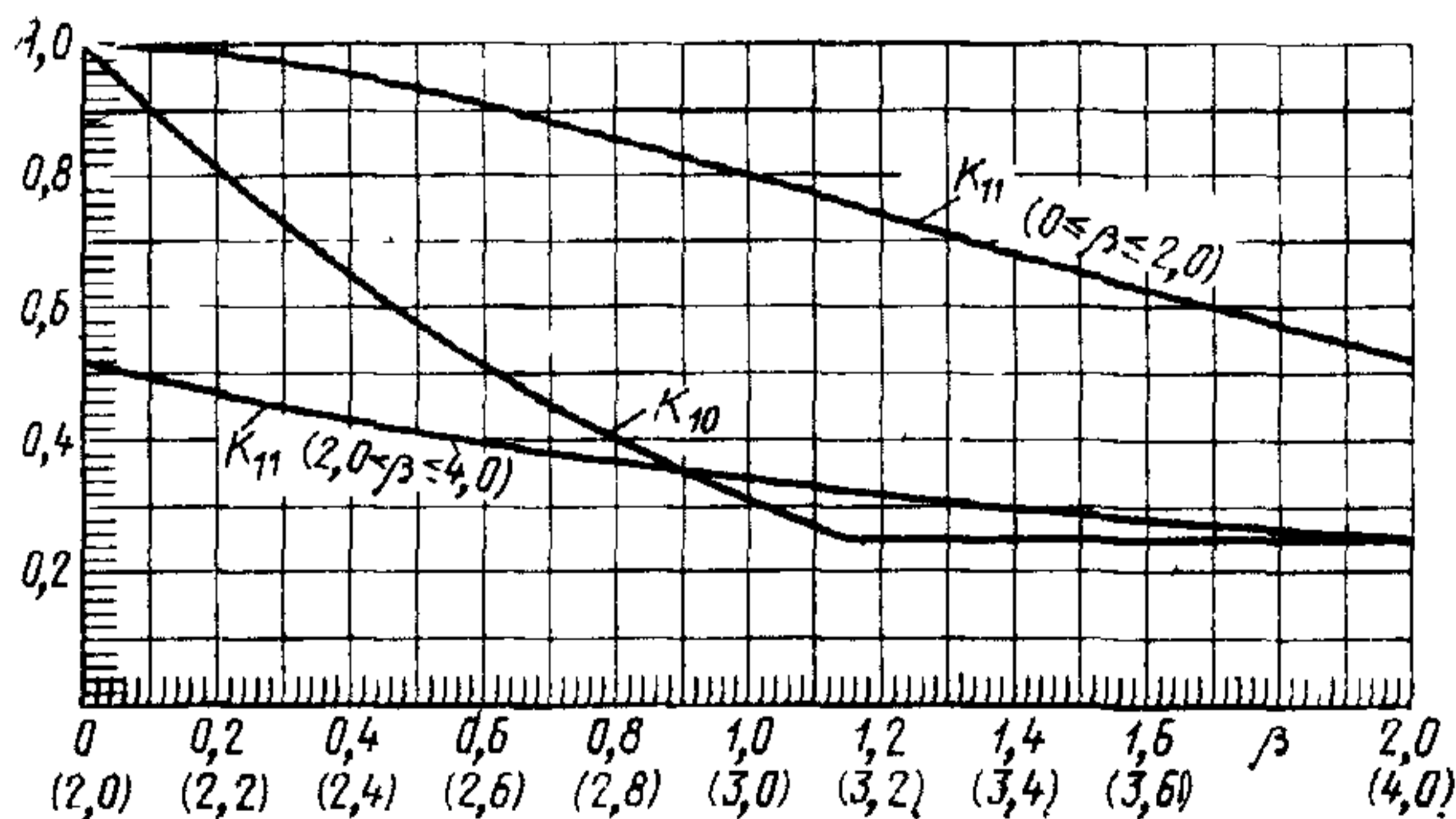
$[\sigma_i]_{2,3}$	$\vartheta_1$	$\vartheta_{2,1}$	$\vartheta_{2,2}$
$[\sigma_i]_2$	$-\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}}$	$-\bar{\sigma}_{mx} \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]}$	$\left( \frac{p \cdot D}{4(s-c)} - \bar{\sigma}_{mx} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]}$
$[\sigma_i]_3$	$-\frac{0,53 K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta_1)}$	0	$\frac{p \cdot D}{2(s-c)} \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]}$

$K_{11}$  — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры по черт. 19;

$K_{13}$  — коэффициент, учитывающий влияние угла охвата, по черт. 20;

$K_{15}$  — коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища, по черт. 21;

$\bar{\sigma}_{mx}$  — определяют по формуле (36).

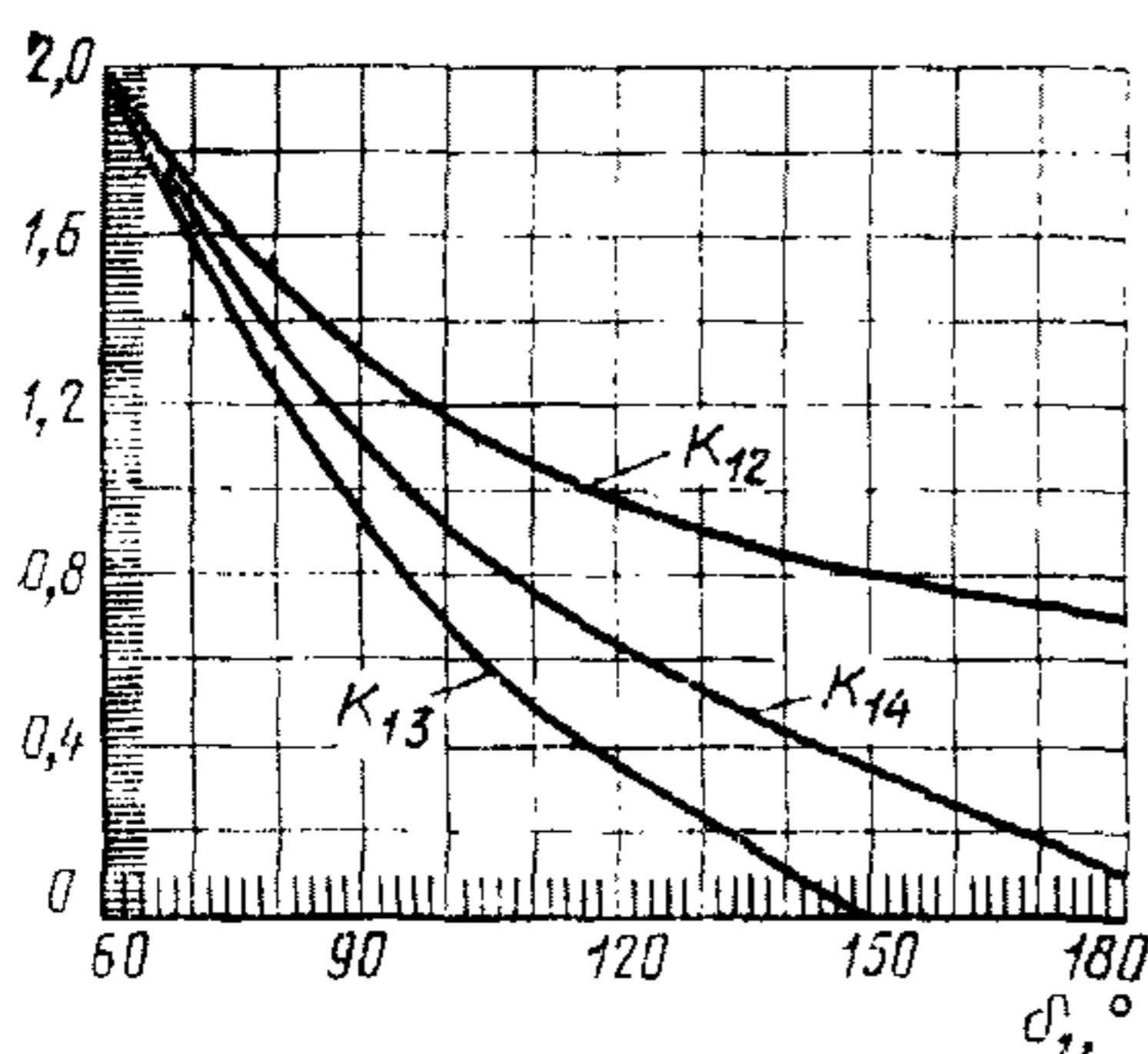
Коэффициенты  $K_{10}$ ,  $K_{11}$ 

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \sin \beta}{\beta} ; 0,25 \right\},$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cos \beta}{\beta}$$

Черт. 19

Коэффициенты  $K_{12}$ ,  $K_{13}$ ,  $K_{14}$



$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432\delta_1}{\sin(0,5\delta_1)},$$

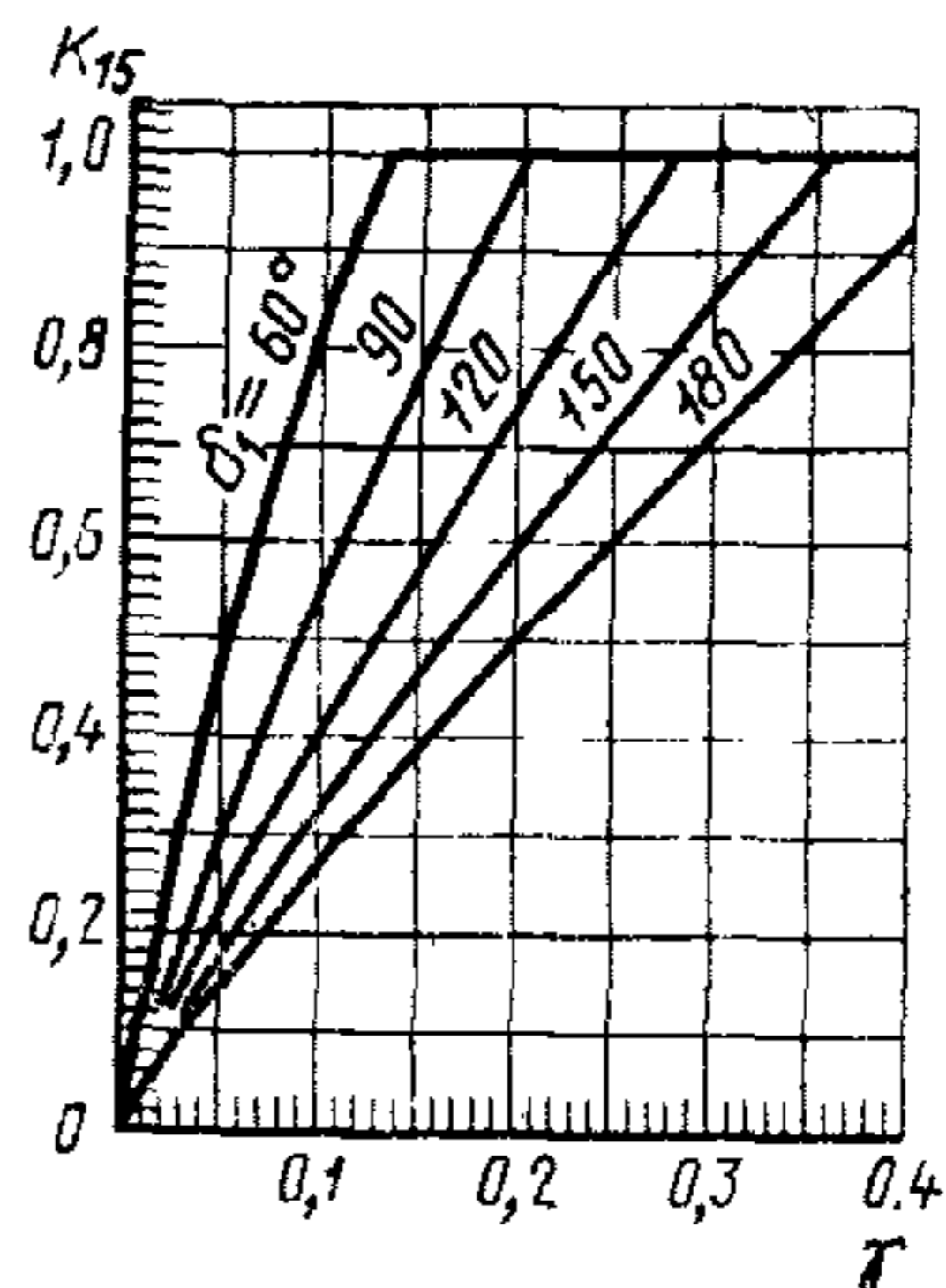
$$K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1\delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5\delta_1)},$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43\delta_1}{\sin(0,5\delta_1)},$$

$\delta_1$  подставляют в радианах

Черт. 20

Коэффициент  $K_{15}$

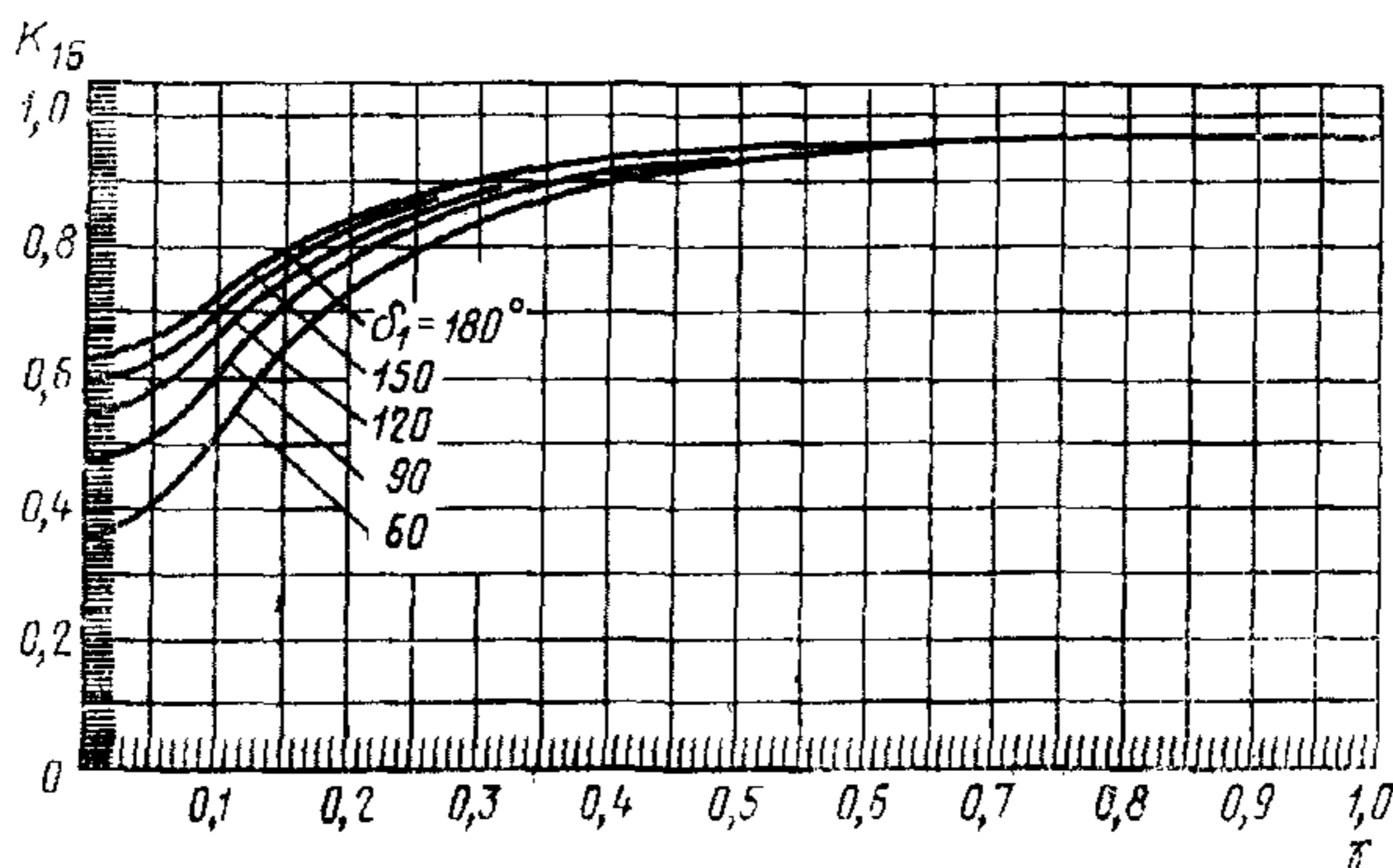


$$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8\sqrt{\gamma + 6\gamma}}{\delta_1}\right\},$$

$\delta_1$  подставляют в радианах

Черт. 21

Коэффициент  $K_{16}$

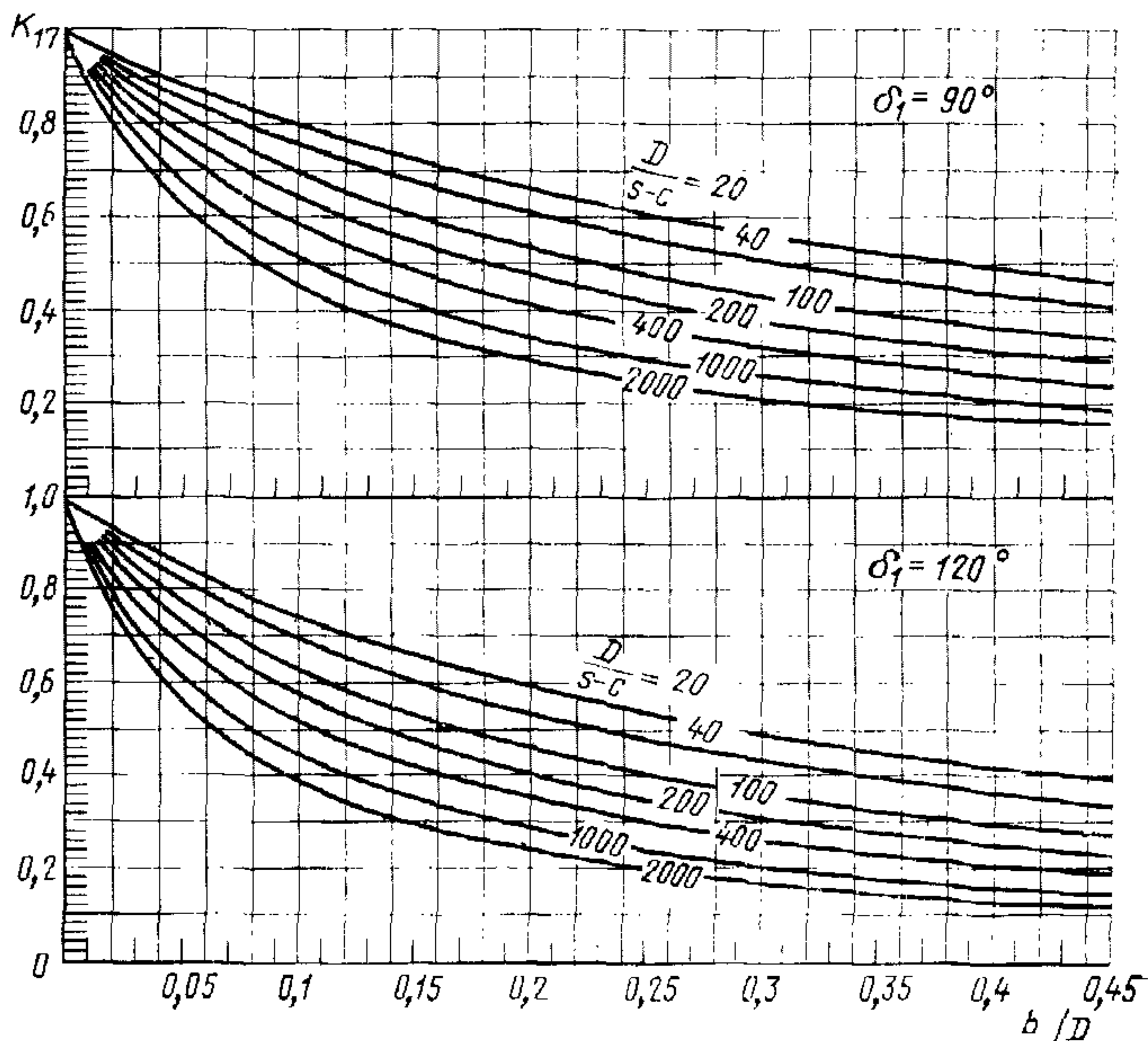


$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma)^2} \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}},$$

$\delta_1$  подставляют в радианах

Черт. 22

Коэффициент  $K_{17}$

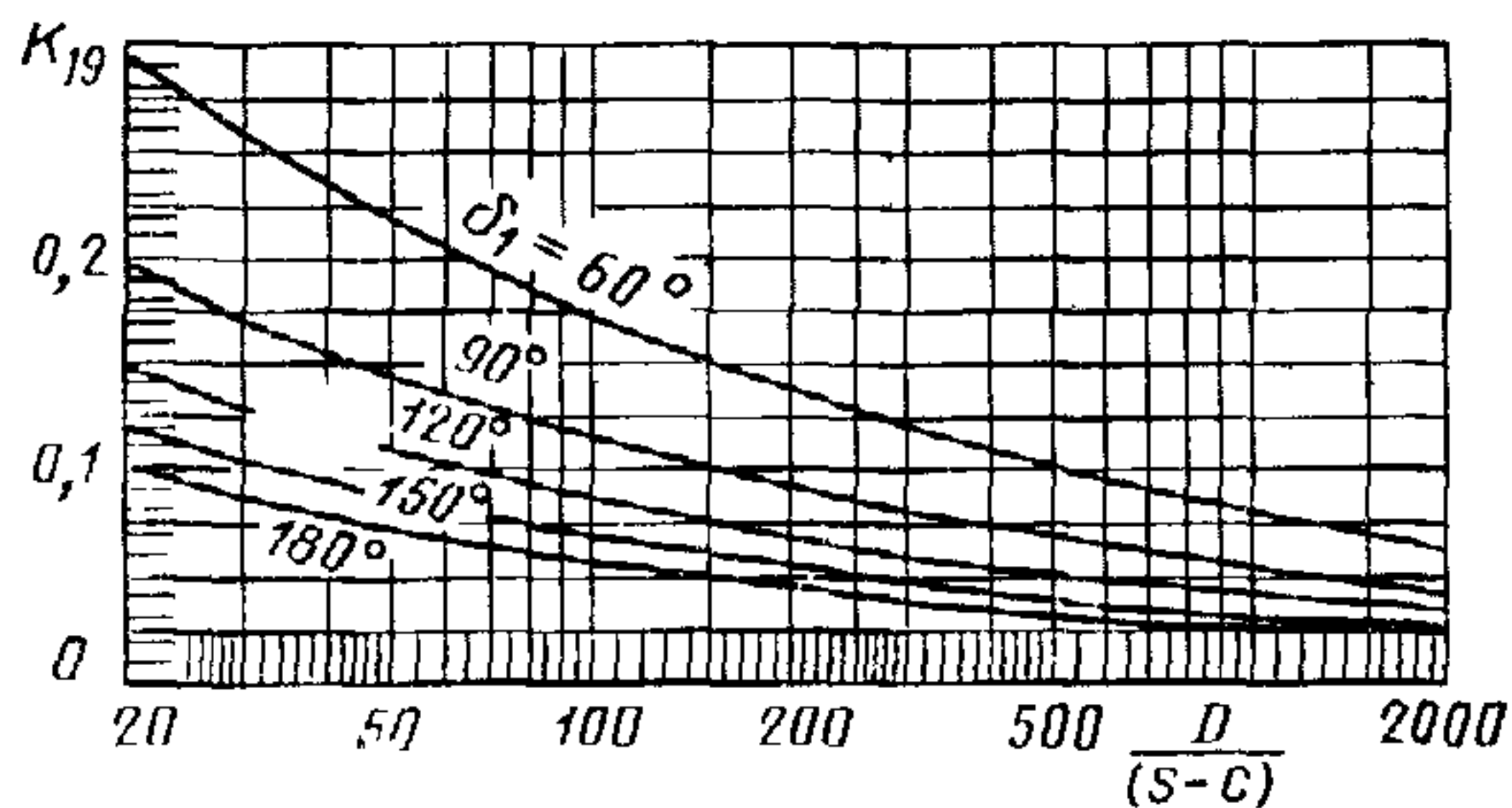


$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \sqrt[3]{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}}$$

$\delta_1$  подставляют в радианах

Черт. 23

Коэффициент  $K_{19}$



$$K_{19} = \frac{5}{6 \sqrt[3]{\frac{D}{s-c} \delta_1}}$$

Черт. 24

## 4.5.3. Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

4.5.3.1. Упрощенная проверка несущей способности;  
при выполнении условия

$$b_2 \geq K_{19} \cdot D + 1,5b. \quad (42)$$

Прочность следует проверять по формуле

$$F_i \leq 1,5 \min\{[F]_2, [F]_3\}, \quad (43)$$

где  $K_{19}$  — определяют по черт. 24;

$[F]_2, [F]_3$  — по п. 4.5.2.1.

Устойчивость следует проверять по п. 4.5.2.2 без учета толщины подкладного листа.

## 4.5.3.2. Уточненная проверка несущей способности.

Если условие (42) не выполняется, проверку несущей способности следует проводить по п. 4.5.2.1 для следующих случаев.

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной  $b_2$  с углом охвата  $\delta_2$ .

Во всех формулах и на графиках 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  $s$  следует подставлять

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

Устойчивость проверяют по п. 4.5.2.2.

4.6. Проверка несущей способности обечайки с кольцом жесткости в области опорного узла

## 4.6.1. Проверка прочности и устойчивости стенки сосуда

4.6.1.1. Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением, проверяют по условию прочности

$$\frac{p \cdot D}{4(s - c)} + \frac{4M_i}{\pi D^2 (s - c)} \leq [\sigma], \quad (44)$$

где  $M_i$  — изгибающий момент по п. 4.3.3.1.

Устойчивость следует проверять по формуле (40), принимая  $p = 0$  и  $F_e = 0$ .

## 4.6.1.2. Сосуды, работающие под наружным давлением

Устойчивость проверяют по формуле (40), принимая  $F_e = 0$ .

## 4.6.2. Проверка прочности кольца жесткости

$$F_i \leq \frac{K_{18} [M_T] \varphi}{(0,5D \pm e_4)}, \quad (45)$$

где  $[M_T]$ ,  $e_4$  — определяют по табл. 3 ( $e_4 \geq 0$  во всех случаях);  
 $K_{18}$  — коэффициент по табл. 2

$$s_e = (s - c) \left( 1 - \frac{|p|D}{2(s - c)[\sigma]} \right) \frac{[\sigma]}{[\sigma]_K}, \quad (46)$$

$$l_e = t + 4\sqrt{D(s - c)}. \quad (47)$$

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

В случае применения профиля, не представленного в табл. 3,  $[M_T]$  следует определять по формуле

$$[M_T] = W_p \cdot [\sigma]_K, \quad (48)$$

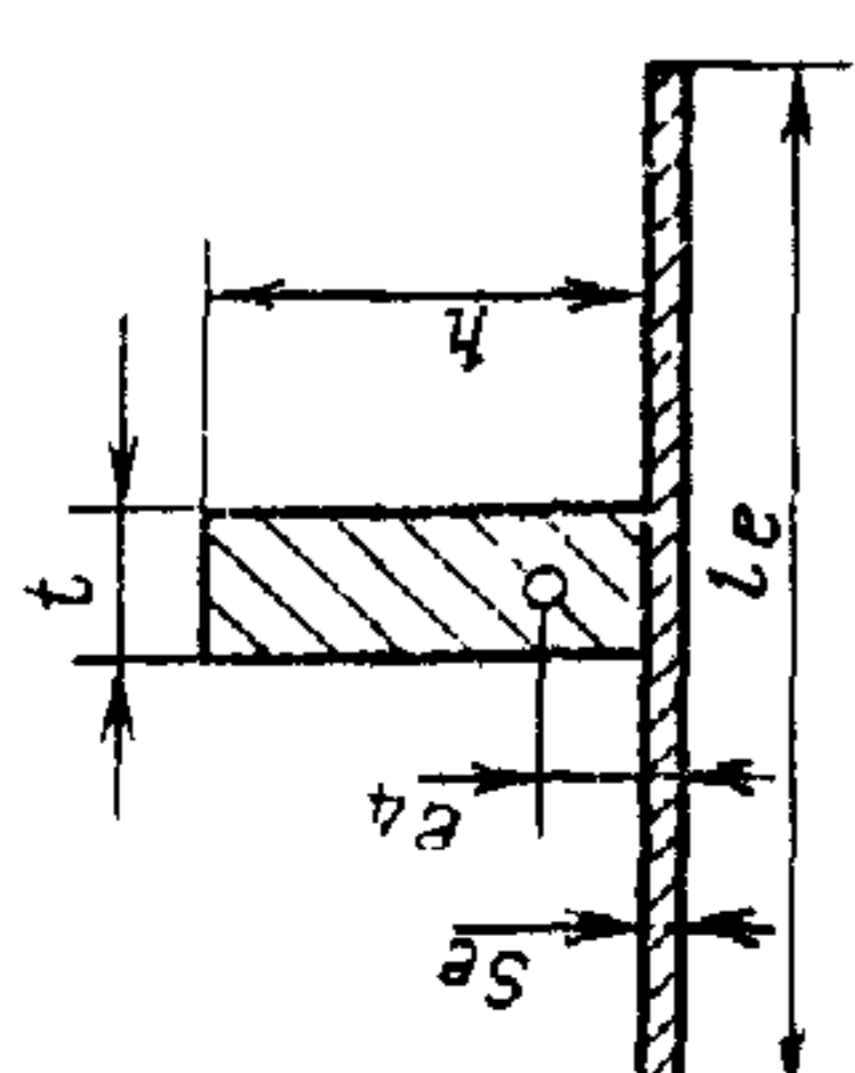
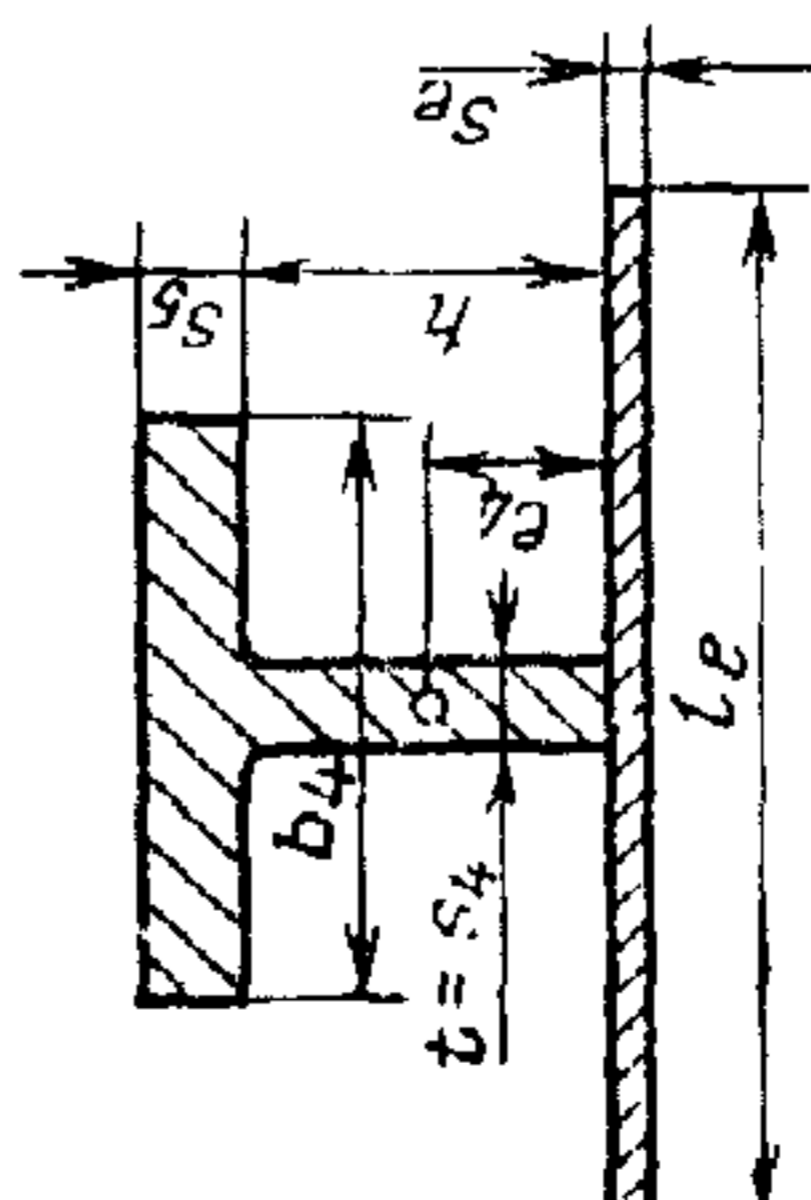
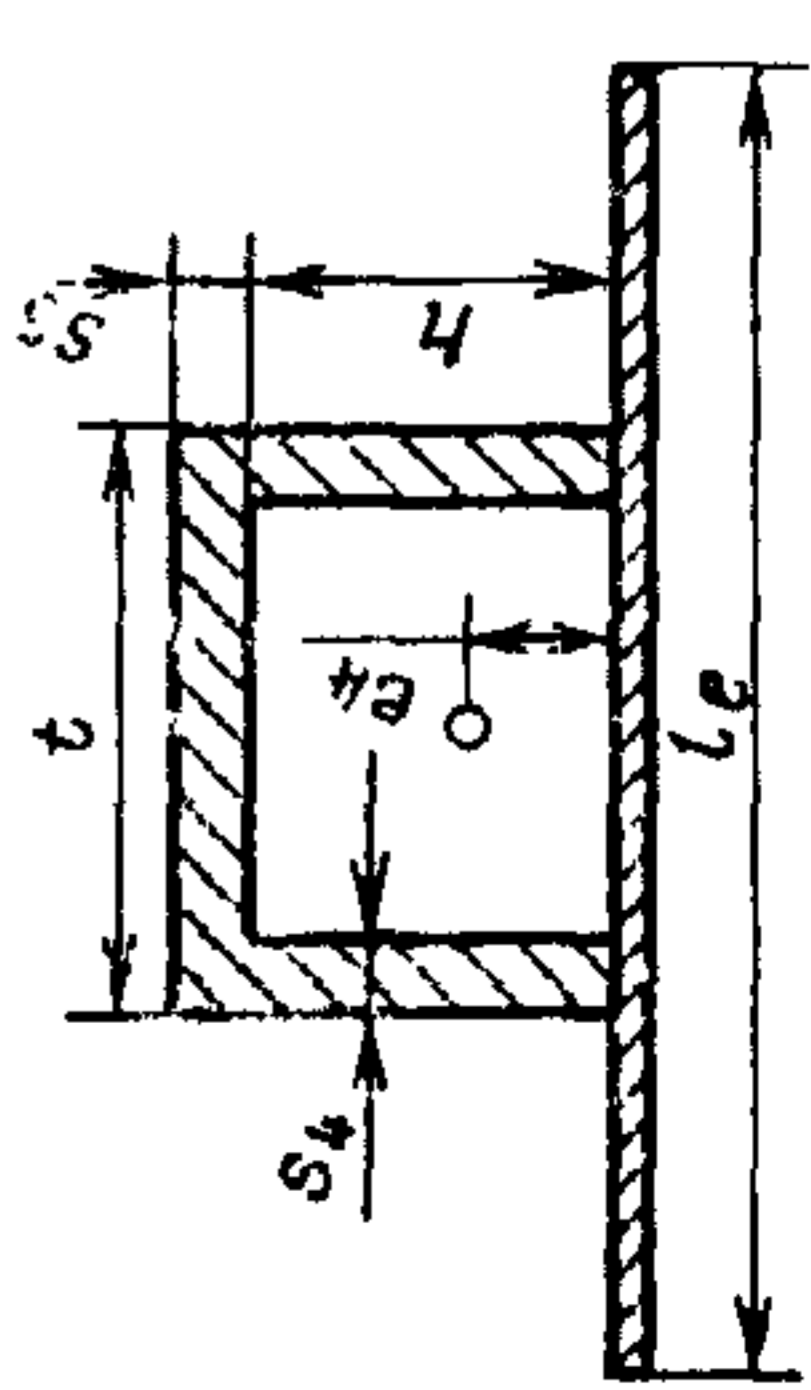
где  $W_p$  — пластический момент сопротивления площади поперечного сечения профиля, включая площадь  $l_e \cdot s_e$ . Нейтральная ось (для определения  $e_4$ ) разделяет площадь поперечного сечения профиля на две равные части.

Таблица 2

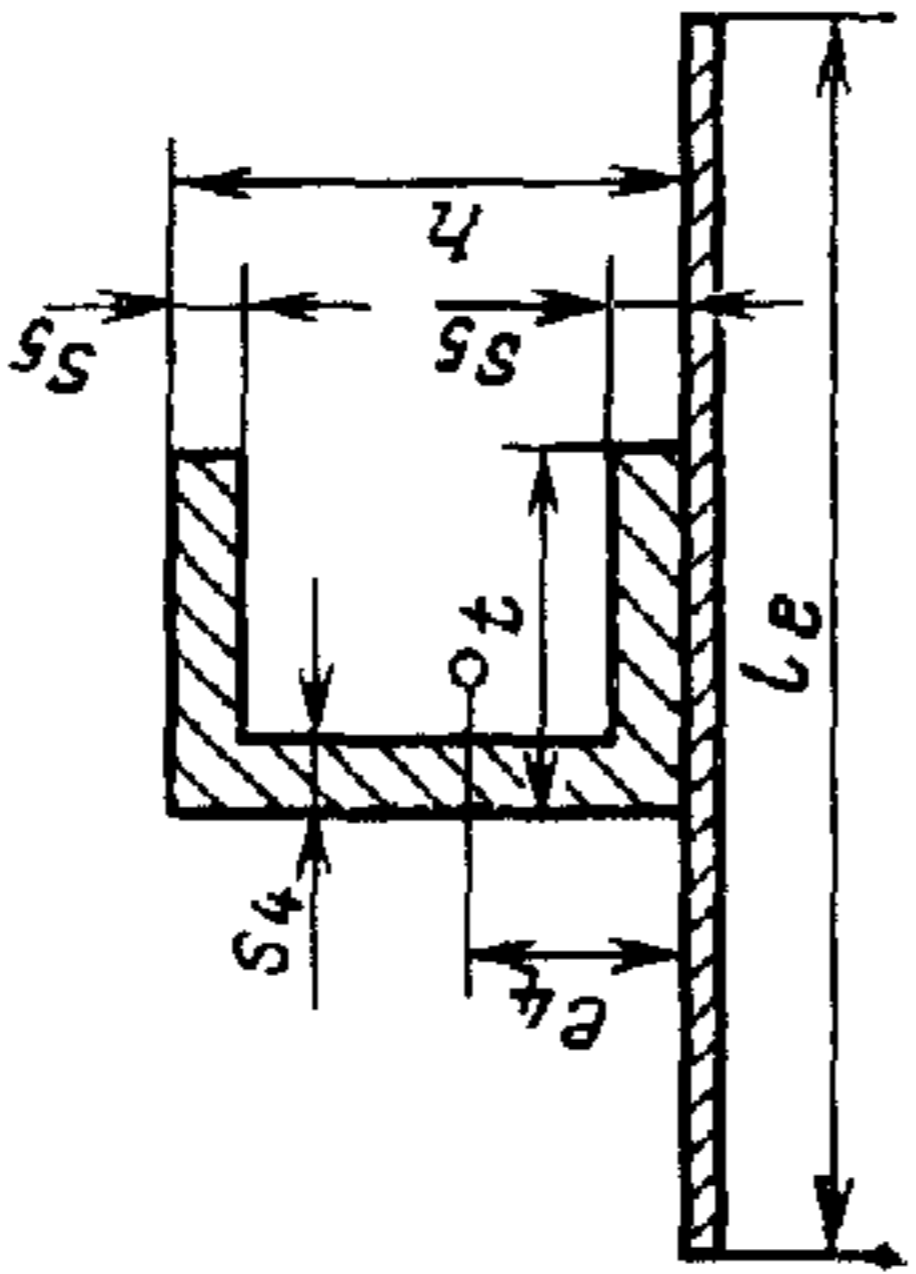
Коэффициент  $K_{18}$ 

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

Значение  $e_4$  и  $[M_T]$

Сечение кольца	$e_4$	$[M_T]$
	$\frac{t \cdot h - l_e \cdot s_e}{2t}$	$0,5[t(h - e_4)^2 + l_e^2 + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s] \cdot [\sigma]_K$
	$\frac{b_4 \cdot s_4 + h s_4 - l_e \cdot s_e}{2s_4}$	$0,5[s_4(h - e_4)^2 + s_4 \cdot e_4^2 + (2h - 2e_4 + s_5)b_4 \cdot s_5 + \dots + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e][\sigma]_K$
	$\frac{2s_4 \cdot h + t \cdot s_5 - l_e \cdot s_e}{4s_4}$	$0,5[2s_4(h - e_4)^2 + 2s_4 \cdot e_4^2 + (2h - 2e_4 + s)l_e \cdot s_5 + \dots + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e][\sigma]_K$

Продолжение табл. 3

Сечение кольца	$e_4$	[M <sub>T</sub> ]
	$\frac{h \cdot s_4 - l_e \cdot s_e}{2s_4}$	$0,5[(s_4(h - e_4))^2 + 2t \cdot s_5(h - s_5) + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e][\sigma]_K$

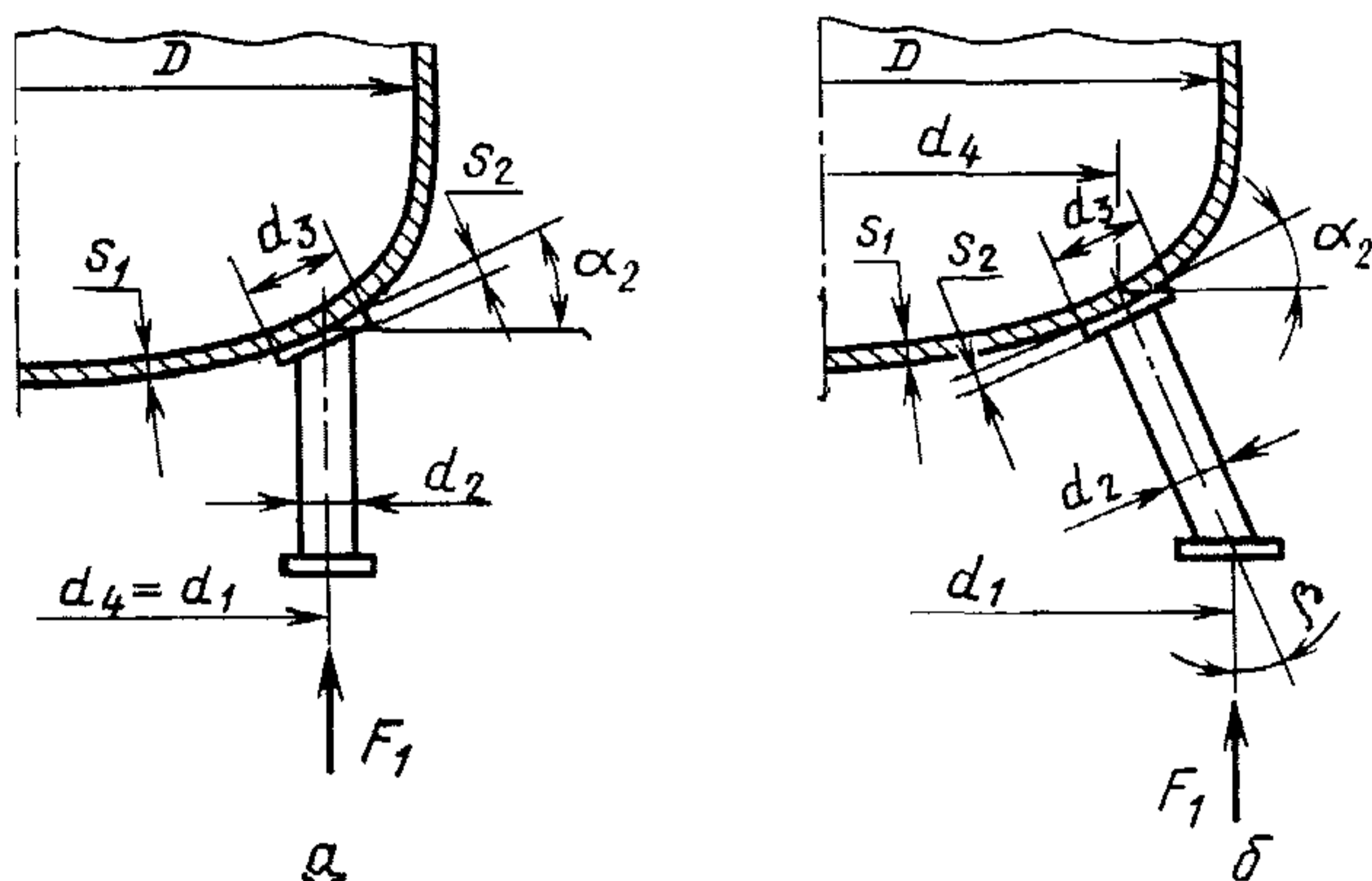
Примечание.  $s_e$ —следует определять по формуле (46);  $l_e$ —по формуле (47).



## 5. ОПОРНЫЕ СТОЙКИ

5.1. Расчетные модели приведены на черт. 25

## Опорные стойки



*a* — вертикальная

*b* — наклонная

Черт. 25

5.2. Область применения расчетных формул

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

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

5.2.3. Расчетные формулы применяют при соблюдении условия

$$d_3 \leq 1,6d_2.$$

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

5.3. Расчетные усилия

5.3.1. Вертикальное усилие на опорную стойку определяют по формуле

$$F_1 = \begin{cases} \frac{G}{3} + \frac{M}{0,866d_4} & \text{— для } n=3, \\ \frac{G}{2} + \frac{M}{d_4} & \text{— для } n=4. \end{cases} \quad (49)$$

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

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{d_1}. \quad (50)$$

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

Должно быть выполнено условие:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{G}{4} > \frac{M}{d_1} \text{ — для } n=4 \\ \frac{G}{3} > \frac{M}{0,866d_1} \text{ — для } n=3 \end{array} \right\} \quad (51)$$

5.4. Проверка несущей способности выпуклого днища

5.4.1. Несущую способность выпуклого днища следует проверять по формулам:

$$\frac{F_1 - p \frac{\pi d_e^2}{4}}{[F]_1} + \frac{p}{[p]_1} \leq 1,0, \quad (52)$$

$$\frac{F}{[F]_1} \leq 1,0, \quad (53)$$

где  $[F]_1$  — допускаемое вертикальное усилие вычисляют по формуле (54);

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

$[p]_1$  — допускаемое внутреннее избыточное давление в срединной области выпуклого днища по ГОСТ 14249—80.

5.4.2. Допускаемое вертикальное усилие определяют по формуле

$$[F]_1 = 1,57[\sigma](s_1 - c)^2 \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \sqrt{1 + 5 \frac{d_e^2}{r_m(s_1 - c)}}. \quad (54)$$

5.4.3.  $r_m$  и  $\alpha_2$  следует определять в соответствии с табл. 4.

Таблица 4

Значение  $r_m$  и  $\alpha_2$ 

Форма днища	Эллиптическое днище	Торосферическое днище типов		
	$H=0,25D$	A	B	C
$r_m$	$\frac{2D \sqrt{1 - \frac{3}{4} \left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}{1 + \frac{1}{1 - \frac{3}{4} \left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$	$D$	$0,9D$	$0,8D$
$\sin \alpha_2$	$\frac{d_4}{2D \sqrt{1 - \frac{3}{4} \left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$	$\frac{d_4}{2D}$	$\frac{d_4}{1,8D}$	$\frac{d_4}{1,6D}$

ПРИЛОЖЕНИЕ  
Справочное

### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛАХ

- $a$  — длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища (черт. 15), мм;  
 $b$  — ширина седловой опоры (черт. 15), мм;  
 $b_1$  — длина несущего ушка в основании (черт. 2), мм;  
 $b_2$  — ширина подкладного листа (черт. 2, 9, 15), мм;  
 $b_3$  — длина подкладного листа (черт. 2, 9), мм;  
 $b_4$  — ширина основной плиты опорной лапы (черт. 9), мм;  
 $c$  — сумма прибавок к расчетной толщине стенки обечайки, мм;  
 $d_1$  — диаметр окружности опорных стоек (черт. 25), мм;  
 $d_2$  — наружный диаметр опорной стойки (черт. 25), мм;  
 $d_3$  — диаметр подкладного листа (черт. 25), мм;  
 $d_4$  — диаметр опорной окружности (черт. 25), мм;  
 $d_e$  — эффективный диаметр опорной стойки, мм;  
 $e$  — длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда (черт. 14 и 16), мм

$$e = a + \frac{2}{3}H;$$

- $e_1$  — расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой или подкладным листом соответственно (черт. 2, 9), мм;

- $e_2$  — расстояние между осью отверстия и средней линией ушка (черт. 2), мм;  
 $e_3$  — расстояние между точкой приложения усилия и нейтральной осью кольца жесткости (черт. 3), мм;  
 $e_4$  — расстояние между стенкой сосуда и нейтральной осью кольца жесткости при пластическом изгибе (табл. 3), мм;  
 $f$  — превышение подкладного листа над гребнем опоры в окружном направлении (черт. 15), мм;  
 $g$  — расстояние между средними линиями ребер (черт. 9), мм;  
 $h_1$  — высота опорной лапы (черт. 9), мм;  
 $K_1 \div K_{19}$  — коэффициенты;  
 $l_1$  — длина опорной лапы (черт. 9), мм;  
 $l_i$  — расстояние между двумя соседними седловыми опорами (черт. 14 и 16), мм;  
 $l_e$  — эффективная несущая длина стенки сосуда (черт. 3, 15), мм;  
 $n$  — число опор;  
 $n_T$  — запас прочности по пределу текучести;  
 $p$  — расчетное давление в условиях эксплуатации или испытания (внутреннее избыточное давление  $p > 0$ , наружное давление  $p < 0$ ), МПа;  
 $[p]$  — допускаемое наружное давление, МПа;  
 $q$  — распределенная нагрузка эквивалентного сосуда (черт. 16), Н/мм;  
 $r$  — радиус нейтрального волокна кольца жесткости (черт. 3, 15), мм;  
 $r_m$  — радиус средней кривизны днища у опорной окружности (табл. 4), мм;  
 $s$  — толщина стенки обечайки, мм;  
 $s_1$  — толщина стенки выпуклого днища (черт. 25), мм;  
 $s_2$  — толщина подкладного листа (черт. 2, 9, 15, 25), мм;  
 $t$  — ширина участка кольца жесткости, приваренного к стенке обечайки (черт. 3, 15), мм;  
 $x$  — расстояние между осью эллиптического днища и серединой опорного узла, мм;  
 $D$  — внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища соответственно, мм;  
 $D_k$  — внутренний диаметр конической обечайки в сечении, соответствующем половине высоты опорного узла, мм;  
 $D_R$  — расчетный диаметр по п. 1.3.5, мм;  
 $F$  — осевое усилие (растягивающее усилие  $F > 0$ , снимающее усилие  $F < 0$ ), действующее на полную площадь сечения обечайки в направлении оси цилиндрической или конической обечайки (без учета нагрузки, возникающей от внутреннего избыточного или наружного давления), Н;  
 $F_i$  — усилие, действующее на  $i$ -ю опору в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), Н ( $i=1$  — для ушек, лап и опорных стоек);  
 $[F]$  — допускаемое усилие из условия устойчивости, Н;  
 $[F]_i$  — допускаемое усилие на опорный элемент в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), Н;  
 $G$  — вес сосуда в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), Н;  
 $H$  — высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической обечайки, мм;  
 $L$  — длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища (черт. 14), мм;

- $M$  — изгибающий момент, действующий на обечайку в сечении, где расположены опорные узлы, в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), Н·мм;  
 $M_i$  — момент над  $i$ -й опорой, Н·мм;  
 $M_{ij}$  — максимальный момент между опорами  $i$  и  $j$ , Н·мм;  
 $[M]$  — допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости, Н·мм;  
 $Q_i$  — максимальное поперечное усилие, действующее над  $i$ -й опорой, Н;  
 $[Q]$  — допускаемое поперечное усилие, Н;  
 $R$  — радиус сферической обечайки или сферического сегмента торо-сферического днища, мм;  
 $W_1$  — момент упругого сопротивления кольца жесткости при изгибе, мм<sup>3</sup>;  
 $W_K$  — момент упругого сопротивления кольца жесткости при кручении, мм<sup>3</sup>;  
 $\alpha$  — половина угла раствора при вершине конической обечайки, ...°;  
 $\alpha_1$  — угол между направлением усилия и вертикалью к стенке обечайки (черт. 2 и 3), ...°;  
 $\alpha_2$  — угол наклона меридиональной касательной у опорной окружности (черт. 25, табл. 4), ...°;  
 $\beta$  — угол между осью опорной стойки и вертикалью (черт. 25), ...°;  
 $\delta_1$  — угол охвата седловой опоры, ...°;  
 $\delta_2$  — угол охвата сосуда подкладным листом, ...°;  
 $\varphi$  — 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,  
 $\underline{\sigma}_{mx}$  — в меридиональном направлении, МПа,  
 $\underline{\sigma}_{my}$  — в окружном направлении, МПа;  
 $[\sigma_l]$  — предельное напряжение изгиба, МПа;  
 $[\sigma], [\sigma]_K$  — допускаемые напряжения соответственно для обечайки и кольца жесткости в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), МПа;  
 $s, n_T, p,$   
 $[\sigma], [\sigma]_K,$   
 $[p], [F],$   
 $[M]$  и  $[Q]$  — по ГОСТ 14249—80.

Редактор *О. К. Абашкова*  
Технический редактор *В. И. Тушева*  
Корректор *Б. А. Мурадов*

Сдано в наб 02.07.84 Подп. в печ. 11.09.84 2,25 усл. п. л. 2,5 усл. кр.-отт. 1,86 уч.-изд. л.  
Тир. 20000 Цена 10 коп

---

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,  
Новопресненский пер., 3.  
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 1984