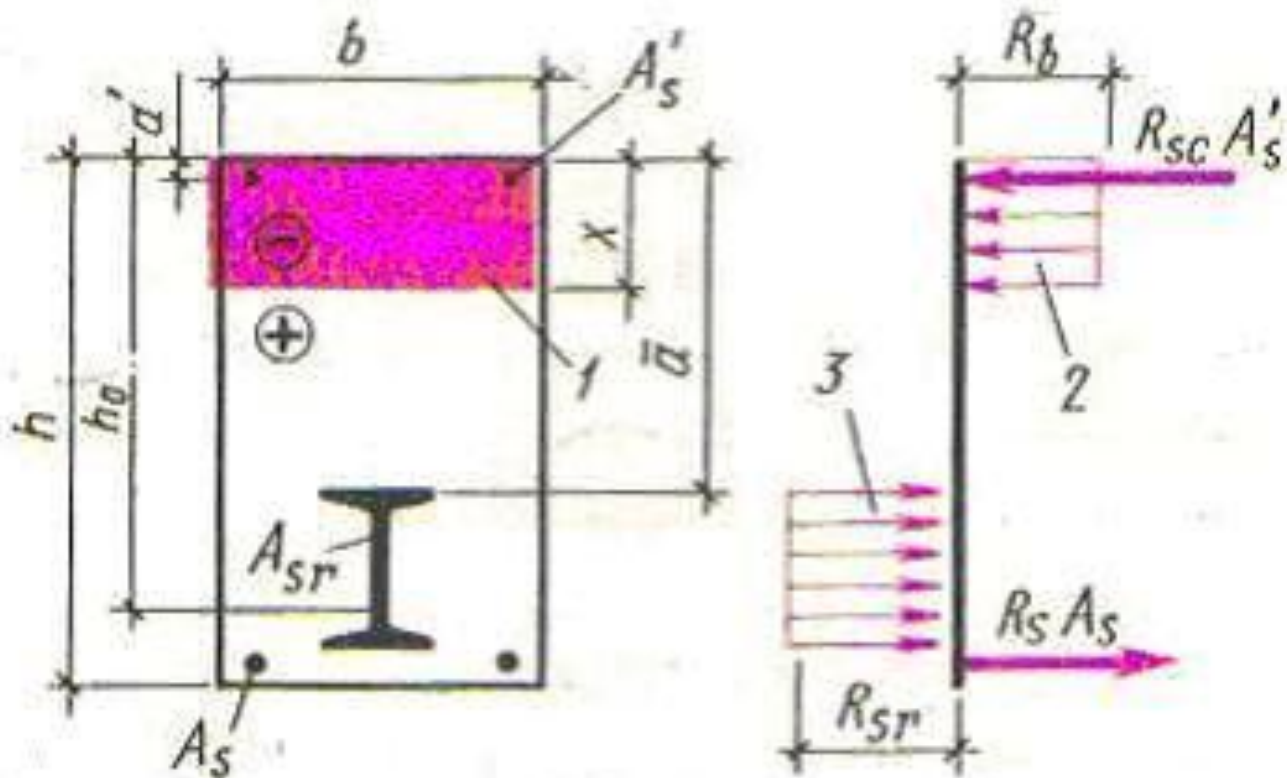




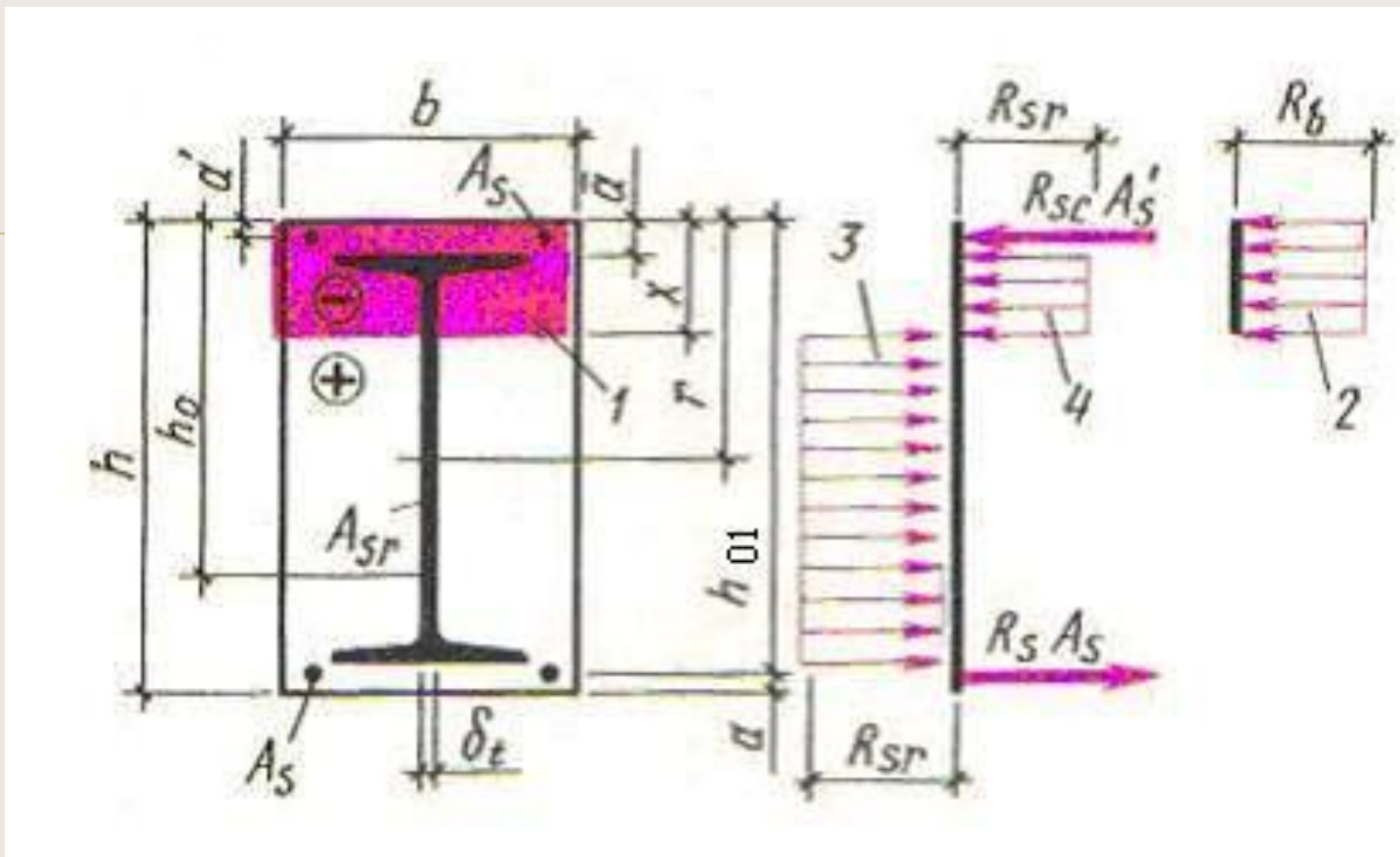
---

**ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ,  
АРМИРОВАННЫЕ  
ЖЕСТКОЙ АРМАТУРОЙ**



**Рис. 11.20. Армирование элемента жесткой арматурой с низким профилем**

- 1 – сжатая зона сечения;
- 2 – напряжения в бетоне сжатой зоны;
- 3 – напряжения растяжения в жесткой арматуре



**Рис. 11.21. Армирование элемента жесткой арматурой с высоким профилем**

- 1 – сжатая зона сечения;
- 2 – напряжения в бетоне сжатой зоны;
- 3 – напряжения растяжения в жесткой арматуре;
- 4 – напряжения сжатия в сжатой арматуре

A spiral-bound notebook with a brown cover and a white page. The spiral binding is on the left side. The page is mostly blank, with a horizontal line near the top. The text "СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ" is centered on the page.

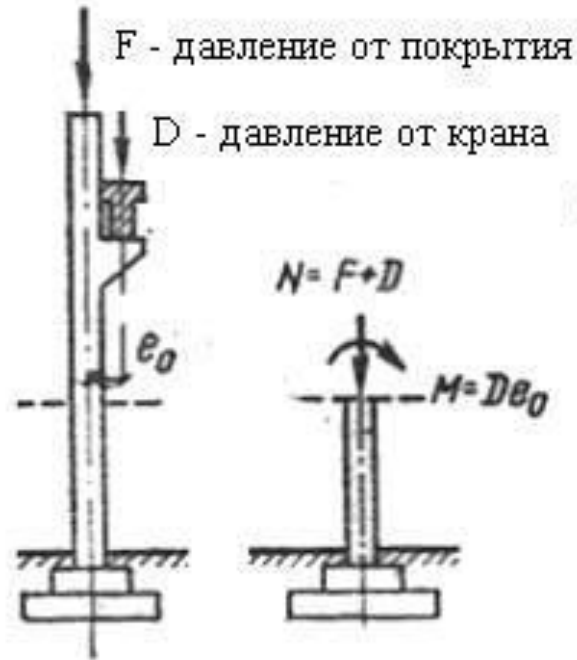
# **СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

## 1. Общие сведения

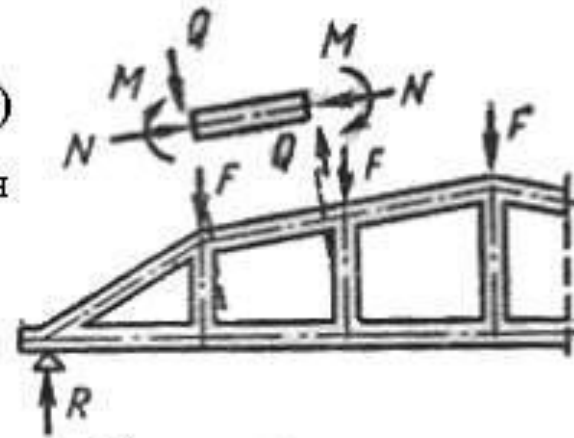
К сжатым элементам относят:

- колонны;
- верхние пояса ферм, загруженные по узлам, восходящие раскосы и стойки решетки ферм;
- элементы оболочек;
- элементы фундамента и некоторые другие конструктивные элементы;
- стены

а)



б)



в)

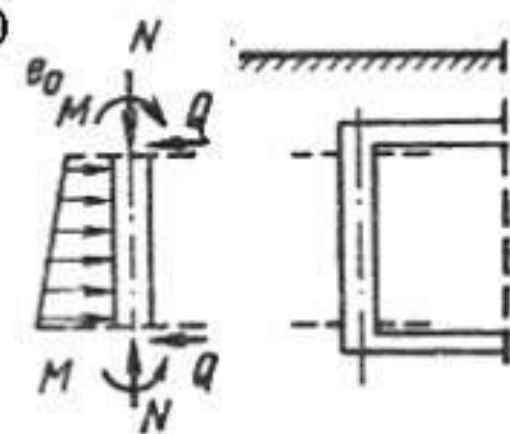


Рис. 12.1. Сжатые элементы

а – колонна;

б – верхний пояс безраскосной фермы

в – стены подземного резервуара

*Центрально сжатые элементы* – элементы, в которых сжимающие силы действуют по оси элемента.

К центрально сжатым элементам относятся большинство промежуточных опор (колонн) покрытий и перекрытий промышленных и гражданских зданий; верхние пояса ферм, свободные от местных нагрузок; сжатые элементы решеток.

Железобетонные колонны бывают как сборные, так и монолитные. По армированию они подразделяются на 3 типа:

1. с гибкой продольной арматурой и поперечными стержнями;
2. с гибкой продольной арматурой и косвенной арматурой в виде спиралей или сварных колец;
3. с жесткой (несущей) арматурой.

Перед разрушением колонн прямоугольного сечения напряжения в бетоне достигают предельной призмочной прочности, напряжения в арматуре – предела текучести, а величина разрушающего усилия равна сумме предельных усилий в арматуре и бетоне.

Таким образом, при расчете центрально-сжатых элементов по расчетным предельным состояниям условие прочности сечений колонн заключается в том, чтобы *продольная сила от расчетных нагрузок не превосходила суммы внутренних расчетных усилий в бетоне и арматуре*, т.е.

$$N \leq R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot (A_s + A'_s)$$



Из-за несовершенства геометрических форм элементов конструкции, неоднородности бетона центральное сжатие в чистом виде не наблюдается, а происходит внецентренное сжатие с так называемыми случайными эксцентриситетами.

Гибкие элементы, не имеющие заданных эксцентриситетов, согласно СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» рассматривают как центрально сжатые, а снижение их несущей способности и влияние случайных эксцентриситетов (в пределах допустимого) учитывают коэффициентом продольного изгиба  $\varphi$  :

$$N \leq \varphi \cdot [R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot (A_s + A'_s)]$$

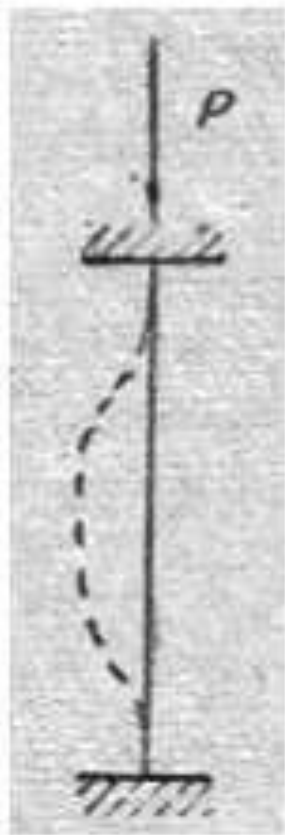
Величину случайного эксцентриситета  $e_a$  принимают по п. 1.21 СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции»

$$e_a \geq \begin{cases} \frac{1}{600} \cdot \boxtimes_0 \\ \frac{1}{30} \cdot h \end{cases}$$

$\boxtimes_0$  – расчетная длина элемента с учетом точек закрепления;  
 $h$  – высота сечения элемента.

По п. 4.2.6. СП 52 – 101 – 2006 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения» величина случайного эксцентриситета принимается

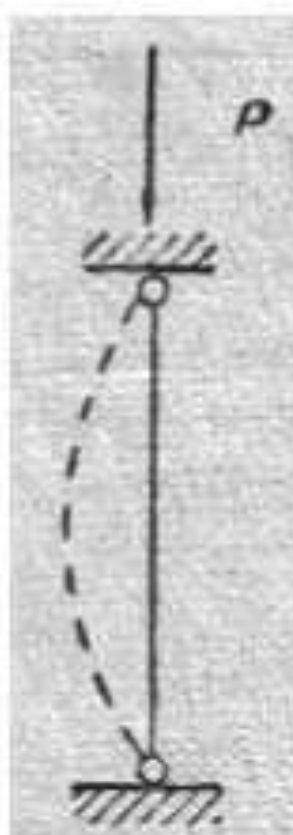
$$e_a \geq \begin{cases} \frac{1}{600} \cdot \varnothing_0 \\ \frac{1}{30} \cdot h \\ 10 \text{ мм} \end{cases}$$



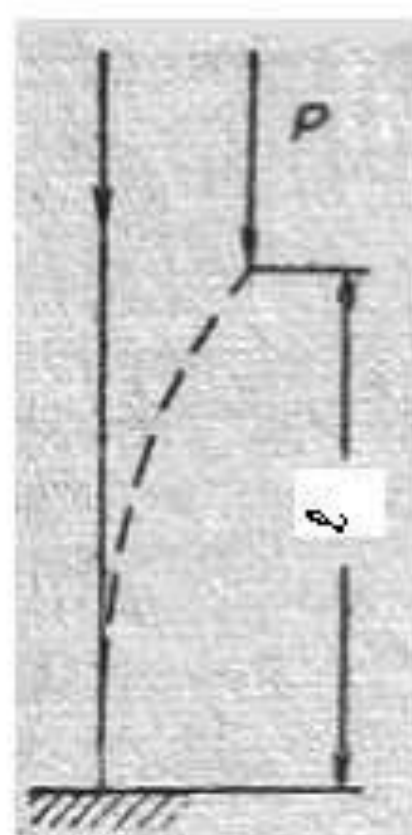
$$l_0 = 0,5 \cdot l$$



$$l_0 = 0,7 \cdot l$$



$$l_0 = l$$

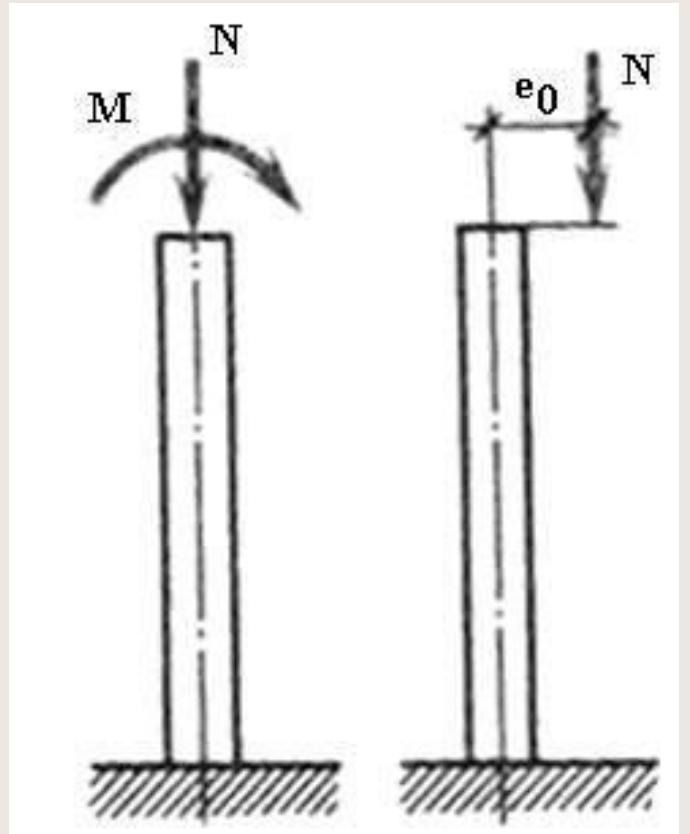


$$l_0 = 2 \cdot l$$

**Рис. 12.2. Расчетные длины сжатых элементов при различном закреплении**

**Внецентренно сжатые элементы** – элементы, в которых расчетные продольные сжимающие силы  $N$  действуют с эксцентриситетом продольного усилия  $e_0$  по отношению к вертикальной оси элемента или на которые одновременно действуют осевая продольная сжимающая сила  $N$  и изгибающий момент  $M$ .

Рис. 12.3. Внецентренно сжатая колонна с начальным эксцентриситетом  $e_0$



Совокупность осевой продольной сжимающей силы  $N$  и изгибающего момента  $M$  можно заменить силой  $N$ , действующей с начальным эксцентриситетом  $e_{0N} = \frac{M}{N}$ .

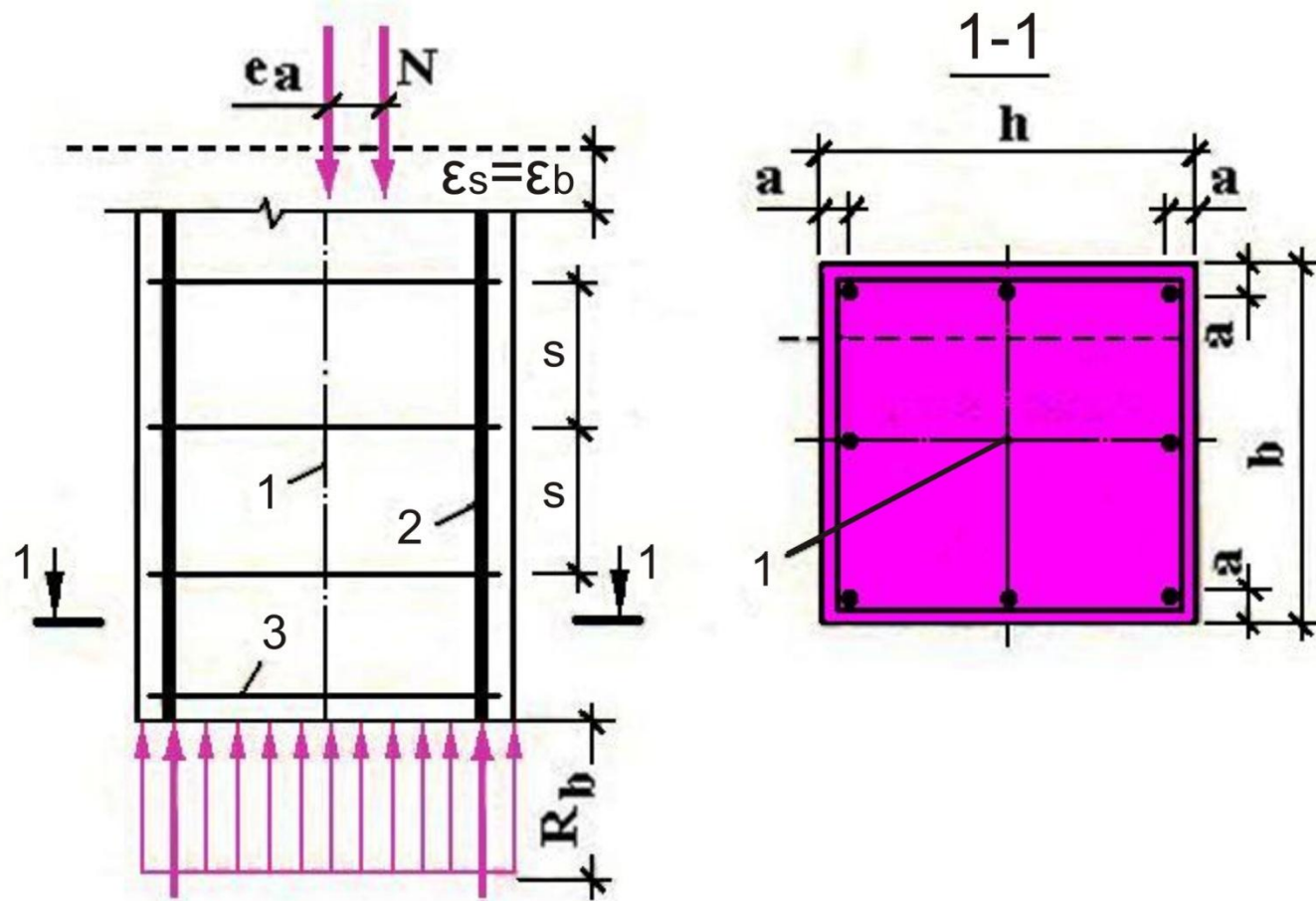
Начальный эксцентриситет в любом случае принимают не менее случайного коэффициента.

Для элементов статически определимых систем проектный эксцентриситет  $e_0$  принимают не менее суммы начального и случайного эксцентриситета, т.е.  $e_0 \geq e_{0N} + e_a$ .

Для элементов статически неопределимых систем проектный эксцентриситет  $e_0$  принимают не менее  $e_a$ , т.е.  $e_0 \geq e_a$ .

При гибкости элементов  $\frac{\lambda_0}{i} > 14$  по п.3.3 СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» необходимо учитывать влияние на их несущую способность прогибов в плоскости эксцентриситета продольного усилия и в нормальной к ней плоскости путем умножения значений  $e_0$  на коэффициент  $\eta$  (см. п. 3.6).

В случае расчета из плоскости эксцентриситета продольного усилия значение  $e_0$  принимается равным значению случайного эксцентриситета  $e_a$ .



**Рис. 12.4. Расчетная схема внецентренно сжатого элемента при случайном эксцентриситете  $e_a$**

- 1 – геометрическая ось элемента;
- 2 – продольная арматура;
- 3 – хомуты

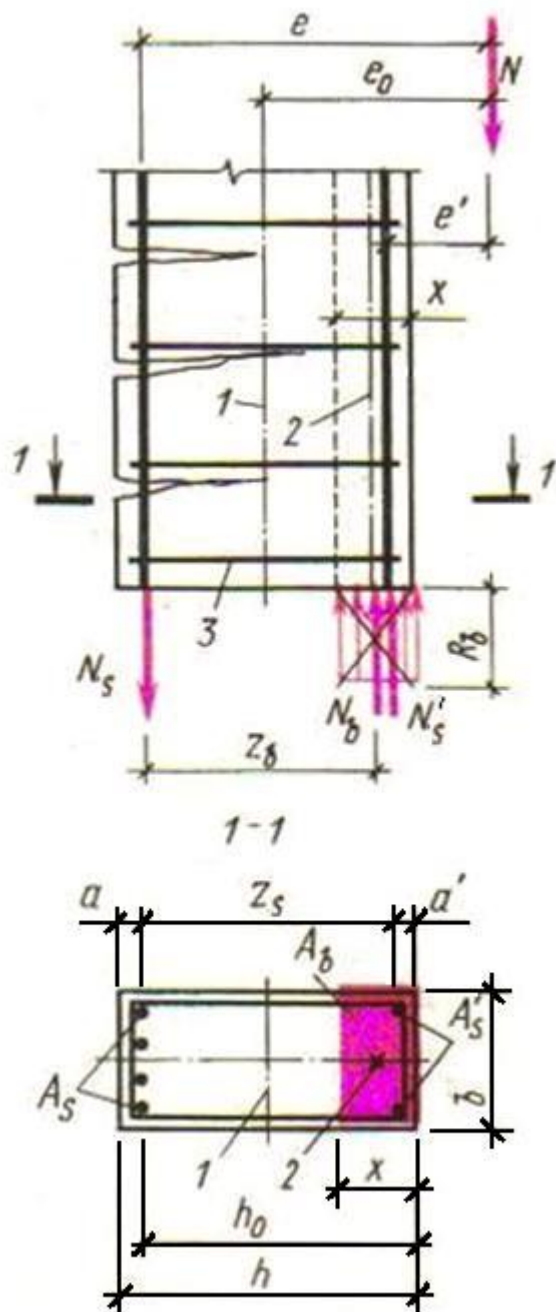


## 2. Основные расчетные положения внецентренно сжатых элементов

При нагружении внецентренно сжатых элементов до предела их несущей способности (стадия III) в зависимости от величины эксцентриситета  $e_0 = \frac{M}{N} + e_a$  наблюдаются 2 случая разрушения:

*случай 1 – случай больших эксцентриситетов  $\xi \leq \xi_R$*

*случай 2 – случай малых эксцентриситетов  $\xi > \xi_R$*



**Рис. 14.5. Расчетная схема внецентренно сжатого элемента (случай 1)**

- 1 – геометрическая ось элемента;  
 2 – центр тяжести бетона сжатой зоны;  
 3 – хомуты

$$\sum y = 0; \quad N_b + N'_s - N_s - N = 0;$$

$$N = N_b + N'_s - N_s;$$

$$N = R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A'_s - R_s \cdot A_s;$$

$$\sum m = 0;$$

$$N \cdot e - N_b \cdot z_b - N'_s \cdot z_s = 0;$$

$$N \cdot e = N_b \cdot z_b + N'_s \cdot z_s = R_b \cdot S_b + R_{sc} \cdot S'_s;$$

$$N \cdot e = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')$$

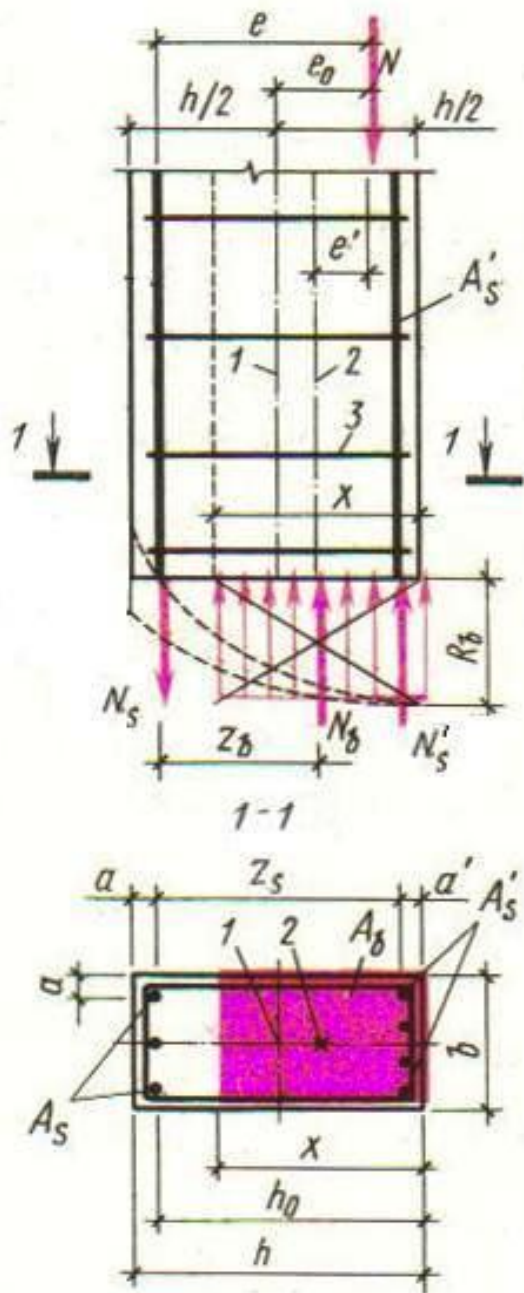
Условие несущей способности элемента:

$$N \cdot e \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')$$

При расчете внецентренно сжатых элементов по случаю 1 возможно применение таблиц:

$$\alpha_0 = \frac{N \cdot e - R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}$$

Таким образом, расчет при помощи таблиц внецентренно сжатых элементов аналогичен расчету при помощи таблиц изгибаемых элементов с двойной арматурой.



**Рис. 14.6. Расчетная схема внецентренно сжатого элемента (случай 2)**

- 1 – геометрическая ось элемента;
- 2 – центр тяжести бетона сжатой зоны;
- 3 – хомуты

$$\sum y = 0; R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A'_s \pm \sigma_s \cdot A_s - N = 0;$$

$$\sum m = 0;$$

$$N \cdot e = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')$$

Условие несущей способности элемента:

$$N \cdot e \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')$$

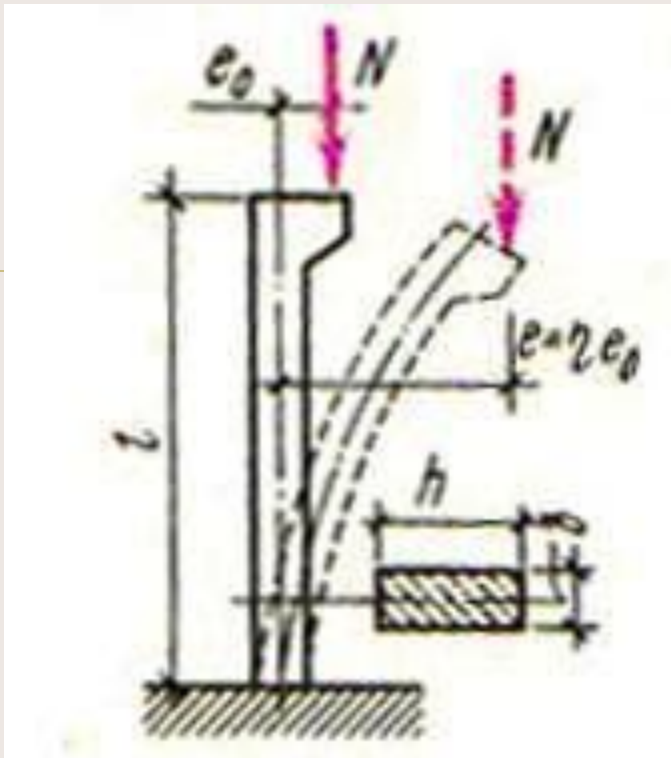
$$\sigma_s = \left( 2 \cdot \frac{1 - \xi}{1 - \xi_R} - 1 \right) \cdot R_s$$

### 3. Расчет внецентренно сжатых элементов с учетом продольного изгиба

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{crc}}}; \quad 1 < \eta \leq 2,5$$

где  $N_{crc}$  – условная критическая сила по Эйлеру.

$$N_{crc} = \frac{\pi^2 EI}{\lambda_0^2} \quad \text{– формула Эйлера}$$



**Рис. 12.7. Продольный изгиб**

С учетом опытных значений коэффициентов СНиП 2.03.01-84\* рекомендует критическую силу для элементов любой формы определять по формуле (20):

$$N_{cr} = \frac{6,4 \cdot E_b}{\varphi_0^2} \cdot \left[ \frac{I_b}{\varphi_{\varnothing}} \cdot \left( \frac{0,11}{\frac{\delta_e}{\varphi_p} + 0,1} + 0,1 \right) + \alpha \cdot I_s \right]$$

$\varphi_l$  – коэффициент, учитывающий влияние длительного действия нагрузки на прогиб элемента в предельном состоянии (т.е. коэффициент, учитывающий ползучесть при длительном приложении нагрузки).

$$\varphi_{\square} = 1 + \frac{\beta \cdot M_1}{M} \leq 1 + \beta$$

$\beta$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от вида бетона по табл. 30;

$\delta_e$  – относительный эксцентриситет, принимаемый по формуле (22) СНиП 2.03.01-84\*

$$\delta_e = \frac{e_0}{h} \geq \delta_{e \min} = 0,5 - 0,01 \frac{\square_0}{h} - 0,01 R_b$$

$$\varphi_p = 1 + \frac{12\sigma_{bp}}{R_b} \cdot \frac{e_0}{h} \quad \text{при } \frac{e_0}{h} < 1,5$$

$$I_s = \mu \cdot b \cdot h_0 \cdot \left(\frac{h_0 - a'}{2}\right)^2$$

$R_b$  принимают **без учета** коэффициентов условий работы.

По СП 52-101-2003 значение условной критической силы определяется из формулы (6.24) п. 6.2.16.

$$N_{crc} = \frac{6,4 \cdot E_b}{\gamma_0^2} \cdot \left[ \frac{I}{\varphi_{\gamma}} \cdot \frac{0,15}{\delta_e + 0,3} \right] + 0,7 \cdot \alpha \cdot I_s$$

$$\varphi_{\gamma} = 1 + \frac{M_{\gamma 1}}{M_1} \quad \delta_e = \frac{e_0}{h} \geq 0,15$$