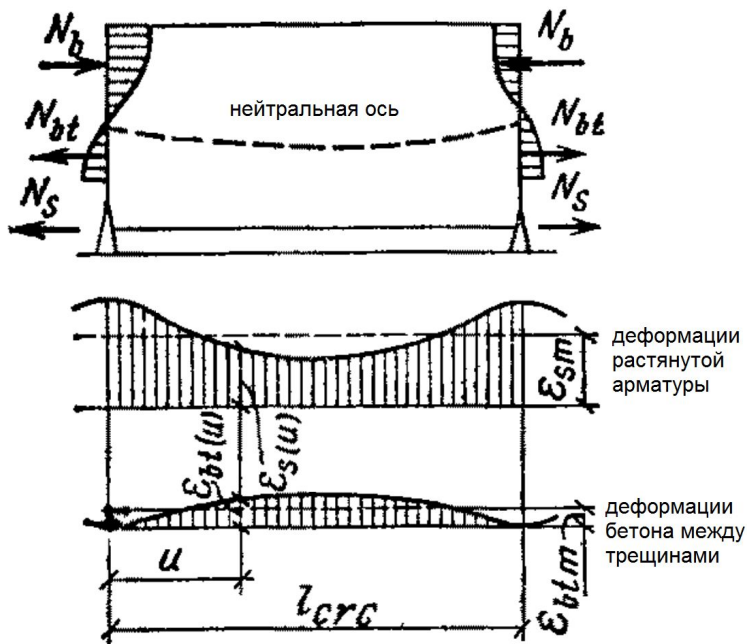


# Тема 13

## Расчет по раскрытию трещин

Ширина раскрытия трещин представляет собой разность удлинения арматуры и растянутого бетона на участке между трещинами, но средней деформацией растянутого бетона обычно пренебрегают, т.к. она существенно меньше, чем деформации растянутой арматуры:



$$a_{crc} = \epsilon_{sm} \cdot l_s - \epsilon_{btm} \cdot l_s \approx \epsilon_{sm} \cdot l_s$$

**Основное расчетное условие:**

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult}$$

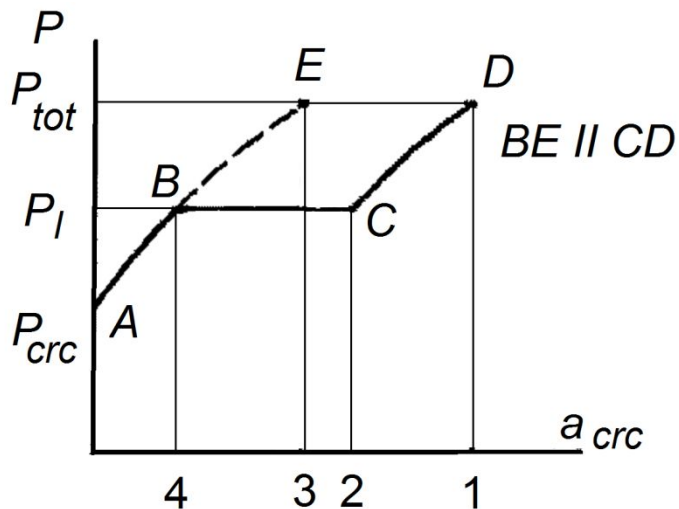
Ширину раскрытия трещин  $a_{crc}$  определяют, исходя из взаимных смещений растянутой арматуры и бетона по обе стороны трещины на уровне оси арматуры, и принимают:

• при продолжительном раскрытии:

$$a_{crc} = a_{crc,1}$$

• при непродолжительном раскрытии:

$$a_{crc} = a_{crc,1} + a_{crc,2} - a_{crc,3}$$



$P_{tot}$  – полная нагрузка;

$P_I$  – постоянная и длительная нагрузка;

$P_{crc}$  – нагрузка в момент образования трещин.

Кратковременная нагрузка:

$$P_{sh} = P_{tot} - P_I$$

где  $a_{crc,1}$  – ширина раскрытия трещин от продолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок (точка 2 на рисунке). **Определяется при  $M = M_I$  и коэффициенте  $\phi_1 = 1.4$**

$a_{crc,2}$  – ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок, т.е. от полной нагрузки (точка 3 на рисунке). **Определяется при  $M = M_{tot}$  и при  $\phi_1 = 1.0$ .**

$a_{crc,3}$  – ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянных и временных длительных нагрузок (точка 4). **Определяется при  $M = M_I$  и коэффициенте  $\phi_1 = 1.0$ .**

Разность  $a_{crc,2} - a_{crc,3}$ , т.е. расстояние между точками 3 и 4 – это приращение ширины непродолжительного раскрытия трещин при действии кратковременной нагрузки.

В основу расчета положена **вторая стадия** напряженно-деформированного состояния.

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s$$

где  $\varphi_1$  – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки и принимаемый равным:

1.0 – при непродолжительном действии нагрузки;

1.4 – при продолжительном действии нагрузки.

$\varphi_2$  – коэффициент, учитывающий профиль арматуры и принимаемый равным:

0.5 – для арматуры периодического профиля и канатной;

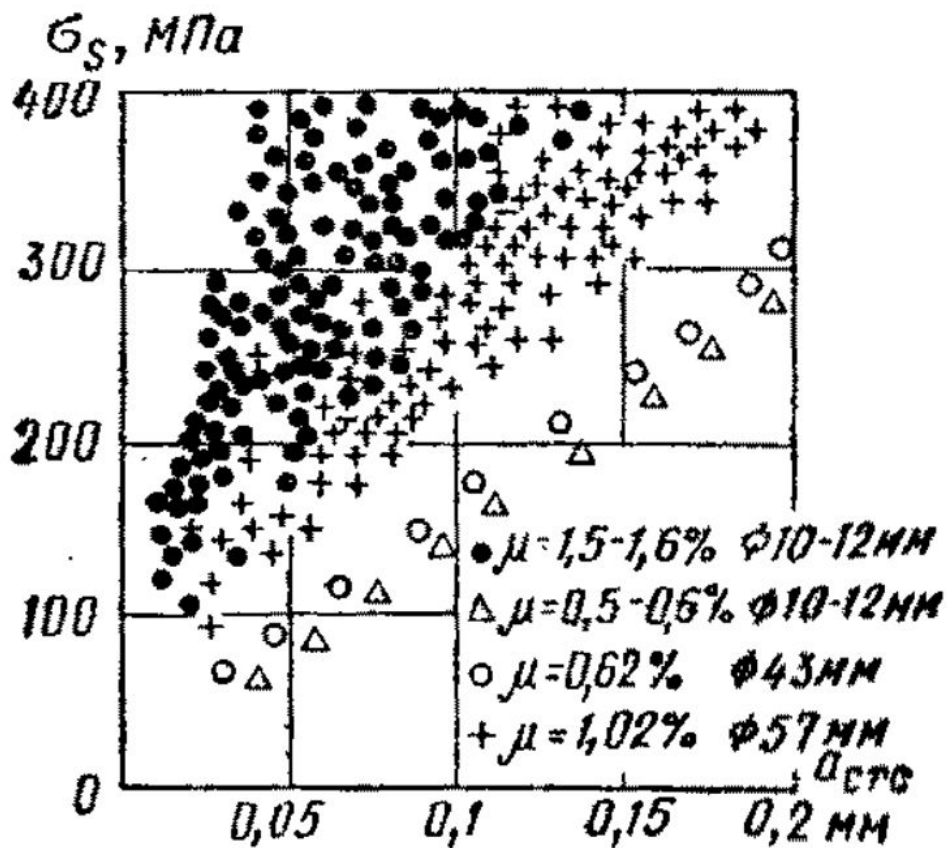
0.8 – для гладкой арматуры (класса A240).

$\varphi_3$  – коэффициент, учитывающий характер нагружения и принимаемый равным:

1 – для изгибаемых и внецентренно сжатых элементов;

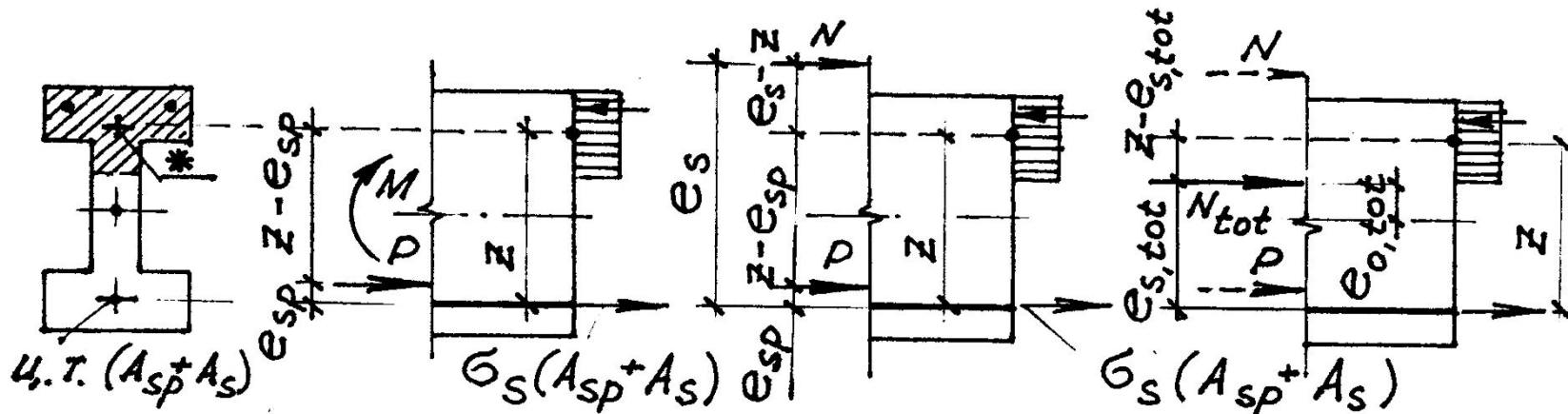
1.2 – растянутых элементов.

$\sigma_s$  – приращение напряжений в продольной арматуре (растянутой или предварительно напряженной) от внешней нагрузки.



Зависимость ширины раскрытия трещин от напряжений в арматуре  $\sigma_s$ , процента армирования и диаметра арматуры

Его определяют **из суммы моментов** относительно точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне.



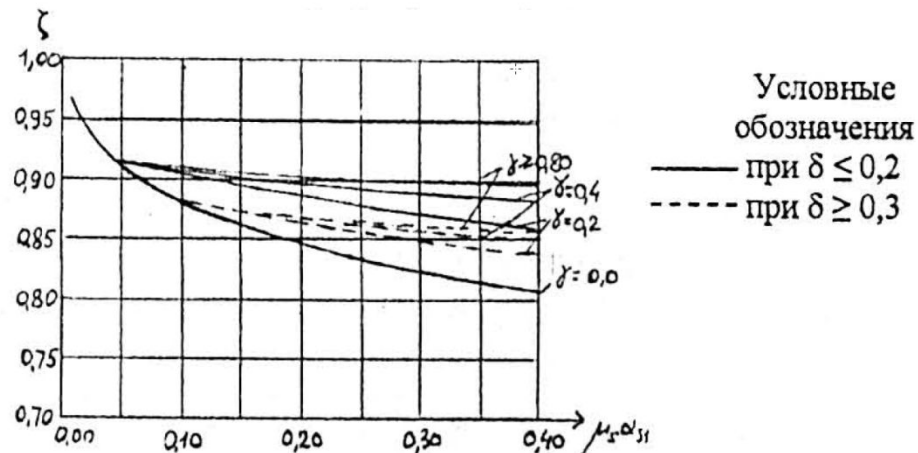
Для изгибаемых элементов **прямоугольного, двутаврового и таврового сечения без предварительного напряжения:**

$$\sigma_s = \frac{M}{z_s \cdot A_s}$$

где  $z_s$  – плечо внутренней пары сил, равное

$$z_s = \zeta \cdot h_0$$

Величина  $\zeta$  определяется по нормам.



Согласно СП 63.13330.2012 для элементов прямоугольного, таврового (с полкой в сжатой зоне) и двутаврового поперечного сечения допускается значение  $z_s$  принимать равным  $0.8h_0$ .

Для **преднапряженных** изгибаемых элементов **прямоугольного, двутаврового и таврового** сечения :

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_s}{z} - P}{A_{sp} + A_s} \quad \text{но не более} \quad R_{s,ser} - \sigma_{sp} \quad M_s = M \pm P \cdot e_{sp}$$

$z$  – плечо внутренней пары сил, равное  $z = \zeta \cdot h_0$ , где  $\zeta$  определяется по таблице СП.

Согласно СП 63.13330.2012 для элементов прямоугольного, таврового (с полкой в сжатой зоне) и двутаврового поперечного сечения допускается значение  $z$  принимать равным  **$0.7h_0$** .

$\psi_s$  – коэффициент, учитывающий **неравномерное распределение относительных деформаций** растянутой арматуры между трещинами.



без предварительного напряжения:

в предварительно напряженных конструкциях:

$$\psi_s = 1, \quad \text{если} \quad a_{crc} \leq a_{crc,ult}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s}$$

$\sigma_{s,crc}$  – приращение напряжений в растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин. Определяется так же как и  $\sigma_s$ , но при значении  $M = M_{crc}$ .

$$\text{при } \sigma_{s,crc} > \sigma_s \quad \longrightarrow \quad \psi_s = 0.2$$

$l_s$  – базовое расстояние между трещинами. Находится из условия, что разность усилий в растянутой арматуре в двух соседних сечениях с трещиной уравнивается усилием сцепления арматуры с бетоном на участке между трещинами:

$$(\sigma_{s1} - \sigma_{s2}) \cdot A_s = \omega \cdot \tau \cdot S \cdot l_{crc}$$

$\omega$  - коэффициент полноты эпюры сцепления,  $\tau$  - максимальное напряжение сцепления бетона с арматурой,  $S = \pi \cdot d_s$  – периметр арматурного стержня.



без предварительного напряжения:

$$10 \cdot d_s \leq l_s = 0.5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_s} \cdot d_s \leq 40 \cdot d_s \text{ или } 400 \text{ мм}$$



в предварительно напряженных конструкциях:

$$10 \cdot d_s \geq l_s = 0.5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_s + A_{sp}} \cdot d_s \leq 40 \cdot d_s \text{ или } 400 \text{ мм}$$

$A_{bt}$  – площадь сечения растянутого бетона, определяемая в общем случае с использованием двухлинейной диаграммы деформирования бетона, но не менее  $2 \cdot a$  и не более  $0.5 \cdot h$ . Определяется в зависимости от высоты растянутой зоны у.

*Для прямоугольного, таврового и двутаврового сечений:*

$$y = y_t \cdot k$$

$y_t$  – высота растянутой зоны бетона, определяемая как для упругого материала при коэффициенте приведения арматуры к бетону

$$y_t = \frac{S_{red}}{A_{red}}$$

$$y_t = \frac{S_{red}}{A_{red} + \frac{P}{R_{bt,ser}}}$$

$k$  – поправочный коэффициент, равный:

- 0.9 – для прямоугольных и тавровых сечений с полкой в сжатой зоне;
- 0.95 – для двутавровых и коробчатых сечений, а также тавровых с полкой в растянутой зоне



# Расчет по раскрытию трещин внецентренно сжатых и центрально и внецентренно растянутых элементов.

для внецентренно растянутых элементов при приложении силы $N$ между центрами тяжести арматуры	для центрально растянутых элементов	для внецентренно сжатых элементов прямоугольного сечения
$\sigma_s = \frac{N \cdot e'}{A_s \cdot (h_0 - a')}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\sigma_s = \frac{N \cdot e}{A_s \cdot h_0} \cdot \phi_{\text{crc}}$ <p><math>\phi_{\text{crc}}</math> - коэффициент, определяемый по нормам</p>