

Тема 12

Расчет железобетонных элементов по второй группе предельных состояний

А. Расчет трещиностойкости железобетонных элементов

Трещиностойкостью железобетонных элементов называется их сопротивление образованию трещин и, если трещины образуются, их раскрытию

Поэтому расчет трещиностойкости сводится к двум расчетам:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;

1. Расчет железобетонных элементов по образованию трещин

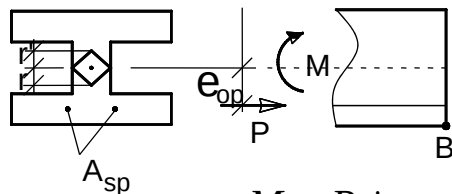
Способ ядровых моментов

Расчет сводится к определению условия $M \leq M_{crc}$

Если $M \leq M_{crc}$ – то трещин не будет,

если $M > M_{crc}$ – то трещины будут.

Как определить момент трещинообразования M_{crc} – ?



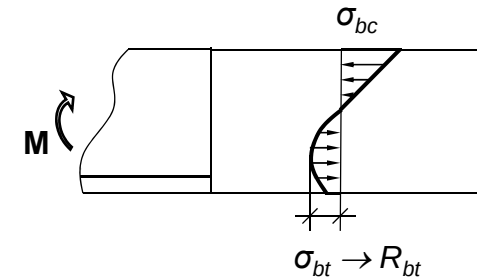
$$\sigma_B = -\frac{P}{A_{red}} + \frac{M - P * e_{op}}{W_{red}}$$

A_{red} - площадь приведенного сечения

W_{red} - момент сопротивления приведенного сечения

$$r' = \frac{W_{red}}{A_{red}}; \quad \sigma_B = -\frac{P * r'}{W_{red}} + \frac{M - P * e_{op}}{W_{red}}$$

За основу расчета по образованию трещин принимается первая стадия напряженного состояния



$$W_{pl} = \gamma * W_{red},$$

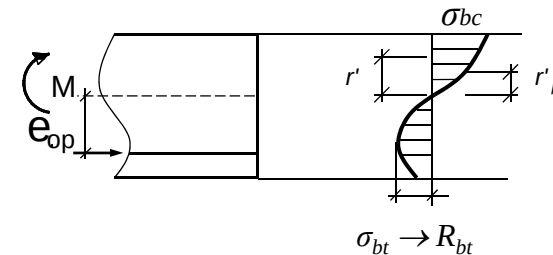
где $\gamma > 1$ - коэффициент зависит от формы и размеров сечения

Тогда получим, принимая $\sigma_{bt} = R_{bt, ser}$:

$$R_{bt, ser} * W_{pl} = -P * r' + M - P * e_{op}$$

$$M_{crc} = R_{bt, ser} * W_{pl} + P(r' + e_{op})$$

Если железобетонный элемент предварительно напряженный



$$r'_p = \varphi * r',$$

где $\varphi < 1$, коэффициент, зависящий от уровня напряжений в сжатой зоне бетона, и определяется по СНиП

Окончательно получим:

$$M_{crc} = R_{bt, ser} * W_{pe} + P(r'_p + e_{op})$$

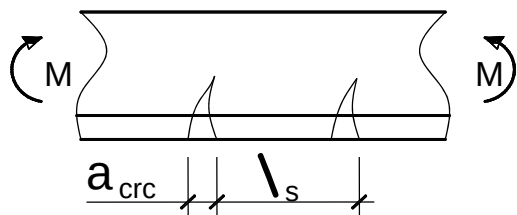
Общая формула для любых железобетонных элементов

2. Расчет ширины раскрытия трещин

За основу расчета принимается вторая стадия напряженного состояния

Расчет сводится к проверке условия

$a_{crc} \leq [a_{crc}]$, где $[a_{crc}]$ - предельное значение ширины раскрытия трещин принимается из СНиП



$$a_{crc} = \frac{\sigma_s}{E_s} * l_s * \psi_s * \varphi_3 * \varphi_2 * \varphi_1, \text{ где}$$

l_s – базовое расстояние между трещинами

ψ_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций арматуры;

φ_1 – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки:

- при непродолжительном $\varphi_1 = 1$
- при продолжительном $\varphi_1 = 1,4$

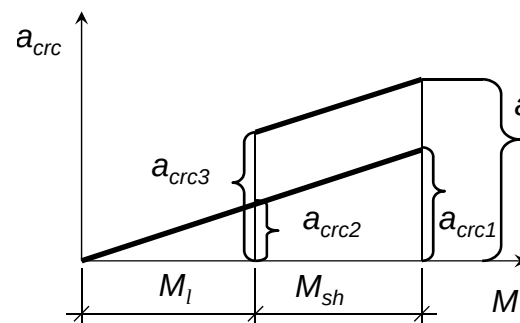
φ_2 – коэффициент, учитывающий профиль арматуры:

- для арматуры периодического профиля $\varphi_2 = 0,5$
- для гладкой арматуры $\varphi_2 = 0,8$

φ_3 – коэффициент, учитывающий характер нагружения:

- для внецентренно сжатых и изгибаемых элементов $\varphi_3 = 1$
- для растянутых элементов $\varphi_3 = 1,2$

3. Полная ширина раскрытия трещин при действии кратковременной и длительной нагрузки



a_{crc1} – ширина раскрытия трещин при кратковременном приложении полной нагрузки

a_{crc2} – ширина раскрытия трещин при кратковременном приложении постоянной и длительной нагрузки

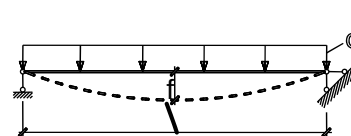
a_{crc3} – ширина раскрытия трещин при продолжительном приложении постоянной и длительной нагрузки

a_{crc} – полная ширина раскрытия трещин

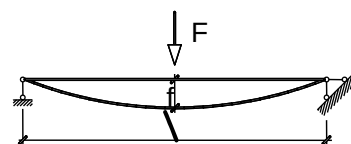
$$a_{crc} = a_{crc1} - a_{crc2} + a_{crc3}$$

Б. Расчет прогибов

1. Понятие о жесткости и кривизне



$$f = \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{E * I} = \frac{5}{48} * \frac{M}{EI} * l^2$$



$$f = \frac{1}{48} * \frac{F * l^3}{E * I} = \frac{1}{12} * \frac{M}{EI} * l^2$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{r} - \text{кривизна}$$

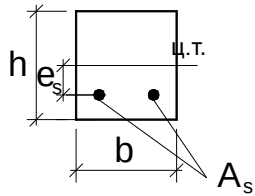
r – радиус кривизны

EI – изгибная жесткость

$$f = S * \frac{M}{EI} * l^2$$

$$f = S * \frac{1}{r} * l^2$$

2. Жесткость железобетонного элемента без трещин



$$E * I = E_b * I_b + E_s * I_s = E_b * I_b + E_s * (I_{cob_s} + e_s^2 * A_s) = E_b * (I_b + \alpha * e_s^2 * A_s) = E_b * I_{red},$$

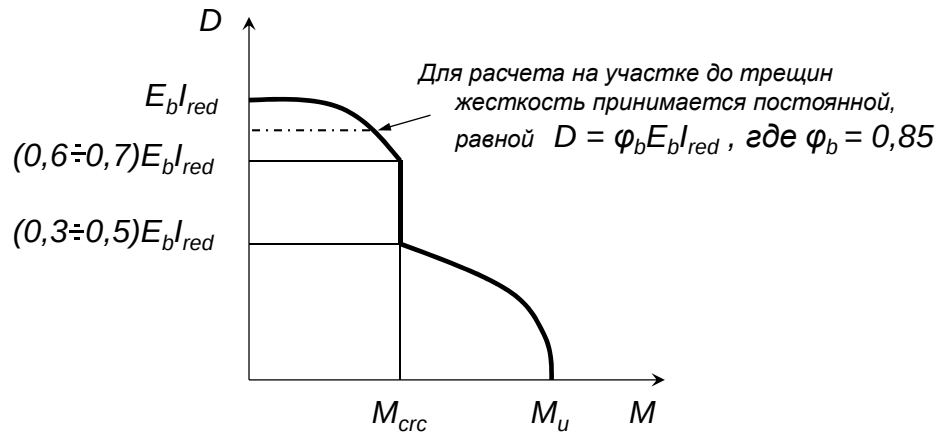
$$\text{где } \alpha = \frac{E_s}{E_b}$$

I_{red} – момент инерции приведенного сечения

$$D = EI = E_b * I_{red} \text{ – жесткость}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{D} = \frac{M}{E_b * I_{red}} \text{ – кривизна}$$

3. Изменение жесткости железобетонного элемента в зависимости от момента



4. Кривизна железобетонных элементов без трещин

$$\frac{1}{r_1} = \frac{M_{sh}}{\varphi_b * E_b * I_{red}}, \text{ – кривизна железобетонного элемента от действия кратковременной части нагрузки}$$

$$\text{где } \varphi_b = 0.85$$

$$\frac{1}{r_2} = \frac{M_l}{\varphi_b * E_b * I_{red}} * \varphi_l, \text{ – кривизна железобетонного элемента от действия постоянной и длительной части нагрузки}$$

где $\varphi_l > 1$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки

Полная кривизна для обычных железобетонных элементов

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

Если элемент преднапряженный



$$\frac{1}{r_3} = \frac{P * e_{op}}{\varphi_b * E_b * I_{red}} \text{ – кривизна от выгиба в момент спуска натяжения арматуры}$$

Полная кривизна преднапряженных железобетонных элементов:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}$$

Кривизна железобетонных элементов с трещинами

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{D}, \text{ где } D = k_b * E_b * I_b + k_s * E_s * I_s$$

$\left. \begin{matrix} k_b \\ k_s \end{matrix} \right\}$ Коэффициенты, определяемые по СНиП

6. Полная кривизна при действии длительной и кратковременной нагрузки



Расчет прогибов сводится к проверке условия

$$f \leq [f]$$

где $[f]$ – предельно допустимый прогиб принимается по СНиП

Все расчеты по второй группе предельных состояний выполняются на нормативное значение нагрузки

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2}$$