

ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр

Железобетонные и каменные конструкции

Практическое занятие №6



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; PekinDA@mgsu.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

Практическое занятие №6 – краткий обзор:

Расчет железобетонных элементов по II предельному состоянию:

- Общие положения
- Недопущение образования трещин
- Ограничение ширины раскрытия трещин

Общие положения расчета ЖБК по II группе ПС

Выполняется комплекс расчетов на действие изгибающих моментов и продольных сил в нормальных сечениях:

- На основе нелинейной деформационной модели согласно 8.2.14, 8.2.32, 6.1.24-6.1.26, 8.1.20-8.1.30 СП 63.13330, но с учетом сопротивления бетона растяжению
- На основе линейного расчета для элементов простого сечения (прямоугольного, таврового или двутаврового) с арматурой, расположенной вдоль граней, при учете изменения геометрических характеристик сечения, пластической работы бетона и ползучести в сжатой зоне бетона согласно 8.2.10-8.2.13, 8.2.15-8.2.31 СП 63.13330

Расчет ЖБК с использованием НДМ (п. 8.2.14 СП 63)

Нелинейной деформационной модели производят на основе диаграмм состояния (σ - ϵ) бетона и арматуры с учетом следующих положений:

- Распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения принимают по линейному закону (гипотеза плоских сечений)
- Связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принимают в виде диаграмм состояния бетона и арматуры
- Учитывается сопротивление растянутого бетона
- Критериями соответствия II группе ПС являются недопущение образования трещин, ограничения ширины раскрытия трещин и деформаций (перемещений)

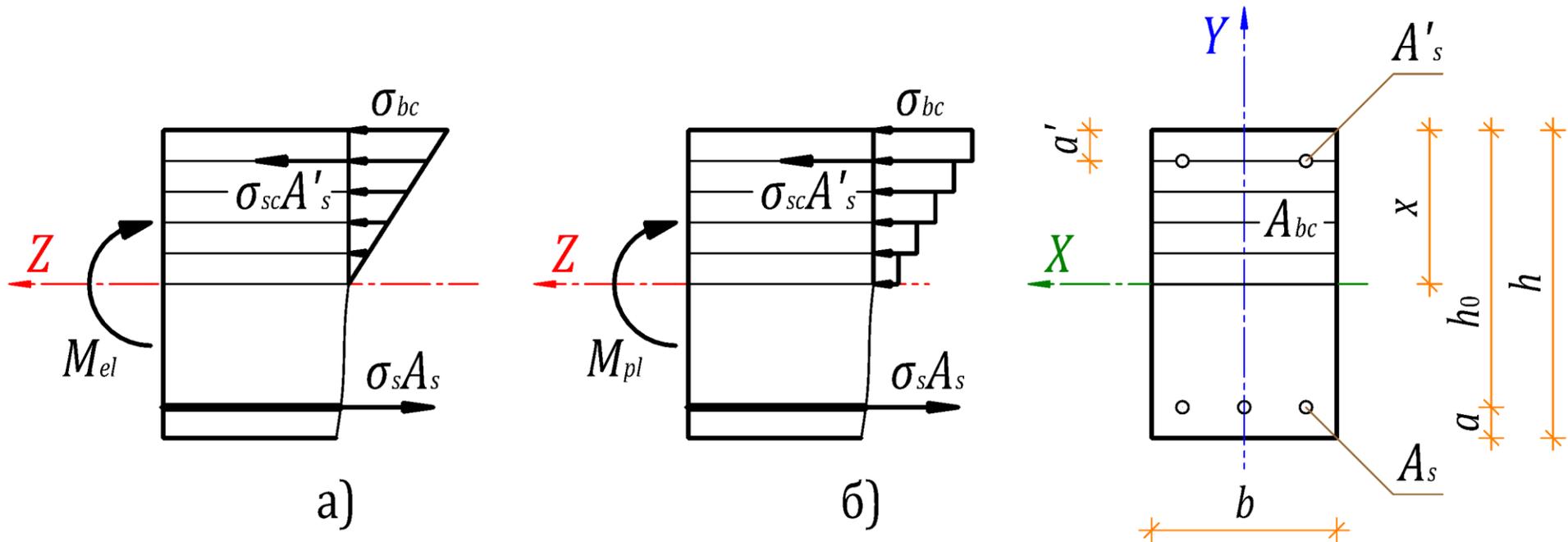
Расчет ЖБК простого сечения (п. 8.2.10, 8.2.27 СП 63)

Выполняется в неблагоприятных нормальных сечениях на основе определения фактически действующих усилий в бетоне и арматуре с учетом следующих положений:

- Сечения после деформирования остаются **плоскими**
- Эпюру напряжений в сжатой зоне бетона принимают **треугольной** формы, как для упругого тела
- Эпюру напряжений в растянутой зоне бетона принимают **трапециевидной** формы с напряжениями и деформациями, не превышающими $R_{bt,ser}$ и $\varepsilon_{bt,ult}$ соответственно (при расчете по недопущению образования трещин)
- Работу растянутого бетона в сечениях с трещиной не учитывают, а между ними учитывают с помощью коэффициента ψ_s (при расчете по ограничению ширины раскрытия трещин)
- Напряжения в арматуре принимают в зависимости от относительных деформаций, как для упругого тела

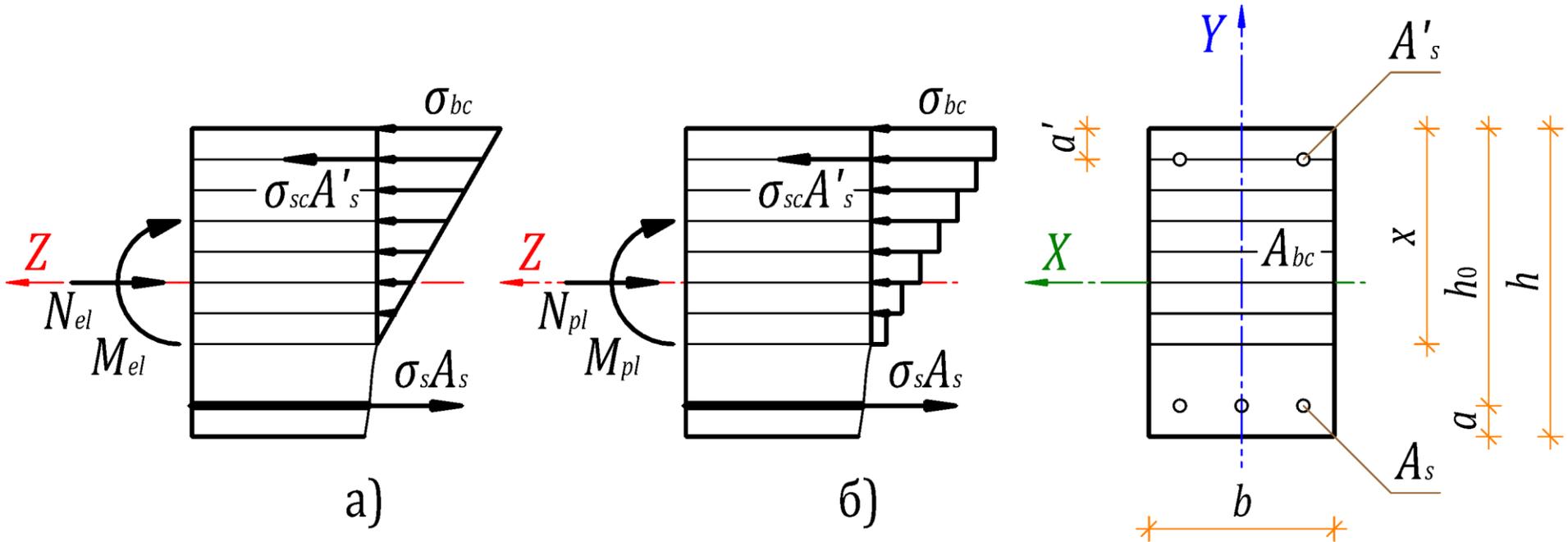
Эпюры нормальных напряжений в сечении с трещиной:

- а) – эпюра, принимаемая для расчетов изгибаемых ЖБК простого сечения после выполнения линейных расчетов
- б) – эпюра, принимаемая для расчетов изгибаемых ЖБК на основе нелинейной деформационной модели



Эпюры нормальных напряжений в сечении с трещиной:

- а) – эпюра, принимаемая для расчетов внецентренно сжатых ЖБК простого сечения после выполнения линейных расчетов
- б) – эпюра, принимаемая для расчетов внецентренно сжатых ЖБК на основе нелинейной деформационной модели



Расчет по образованию трещин (п. 8.2.4, 8.2.11 СП 63)

В изгибаемых элементах простого сечения выполняется по формуле:

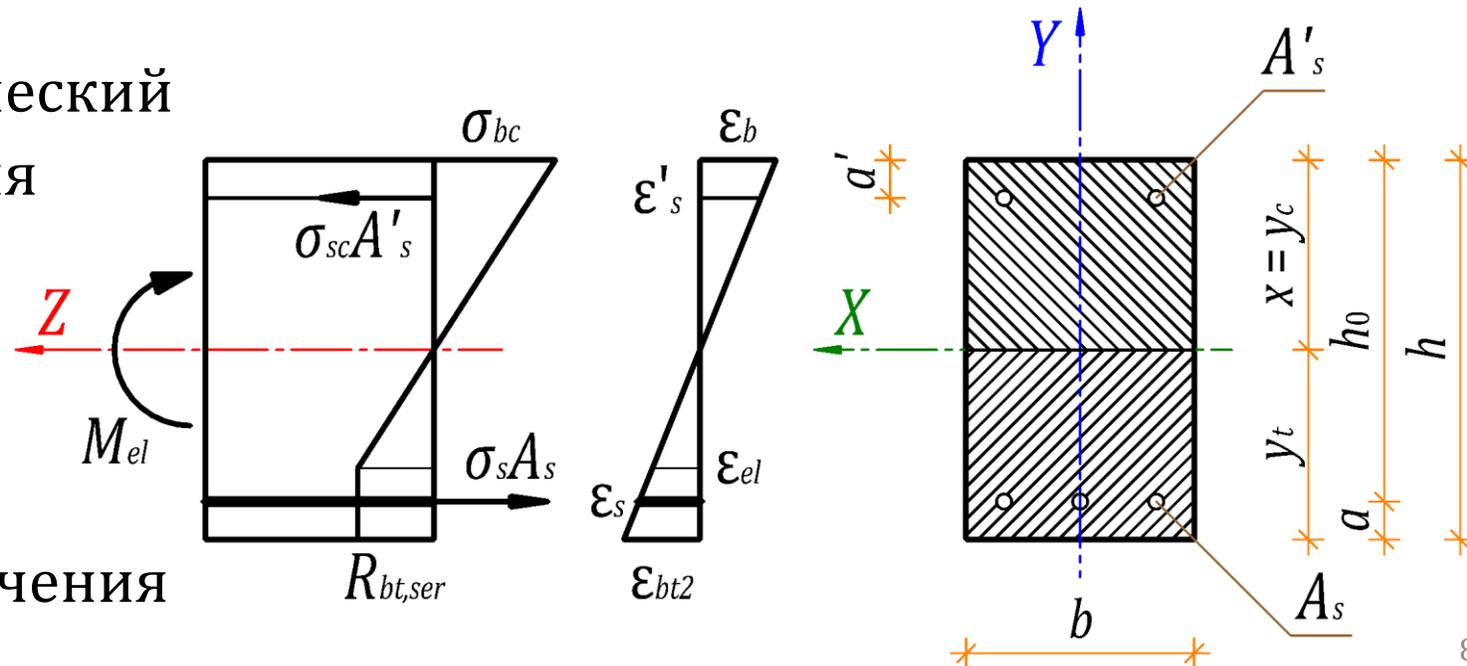
$$M_{el} > M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}$$

где M_{el} – изгибающий момент от внешней нагрузки

$R_{bt,ser} = R_{bt,n} / \gamma_{bt}$ – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для II группы ПС ($\gamma_{bt} = 1$)

$W_{pl} = 1,3W_{red}$ – упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона

W_{red} – упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения



Упругий момент сопротивления (п. 8.2.12 СП 63)

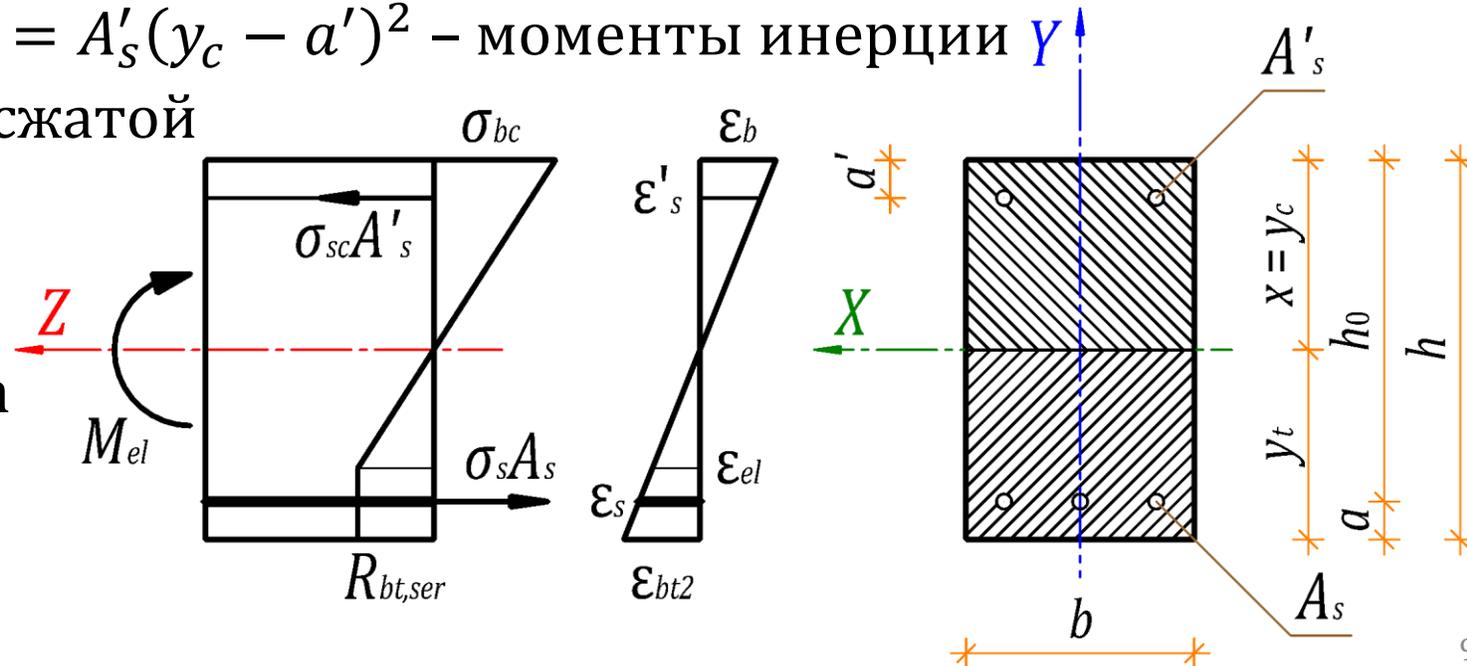
Для крайнего растянутого волокна бетона определяется по формуле:

$$W_{x,t,red} = \frac{I_{x,red}}{y_t}$$

где $I_{x,red} = I_x + \alpha I_{x,s} + \alpha I'_{x,s}$ – момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести, $\alpha = E_s/E_b$ – коэффициент приведения

$I_x = \frac{bh^3}{12}$, $I_{x,s} = A_s(y_t - a)^2$ и $I'_{x,s} = A'_s(y_c - a')^2$ – моменты инерции Y сечений бетона, растянутой и сжатой арматуры соответственно

$y_t = \frac{S_{x,t,red}}{A_{red}}$ – расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента



Геометрические характеристики (п. 8.2.12 СП 63)

Площадь приведенного поперечного сечения элемента определяется по формуле:

$$A_{red} = A + \alpha A_s + \alpha A'_s$$

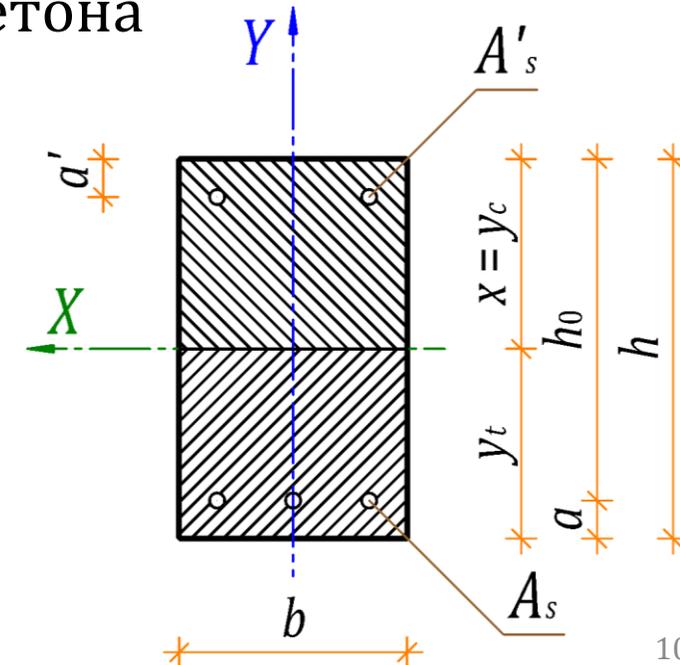
где A , A_s и A'_s – площадь сечений бетона, растянутой и сжатой арматуры

Статический момент площади приведенного поперечного сечения элемента относительно наиболее растянутого волокна бетона определяется по формуле:

$$S_{x,t,red} = Ah/2 + \alpha A_s a + \alpha A'_s (h - a')$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента:

$$y_t = \frac{S_{x,t,red}}{A_{red}} = \frac{Ah/2 + \alpha A_s a + \alpha A'_s (h - a')}{A + \alpha A_s + \alpha A'_s}$$



Пример 1. Расчет балки по образованию трещин

Дано: монолитная железобетонная балка сечением $b \times h - 300 \times 500$ мм пролетом $l = 3,0$ м, $a = a' = 50$ мм, бетон класса В25 ($E_b = 30000$ МПа, $R_b = 14,5$ МПа, $R_{bt,ser} = 1,55$ МПа), арматура класса А500 ($E_s = 200000$ МПа, $R_s = 435$ МПа, $R_{sc} = 400(435)$ МПа), полная нагрузка $P_Y = 200$ кН, в том числе постоянная и длительная нагрузка $P_{Yl} = 160$ кН, приложенная на расстоянии $l_P = 1,0$ м от опор, шарнирные узлы сопряжения, осредненный $\gamma_{f,red} = 1,25$, площадь продольной арматуры:

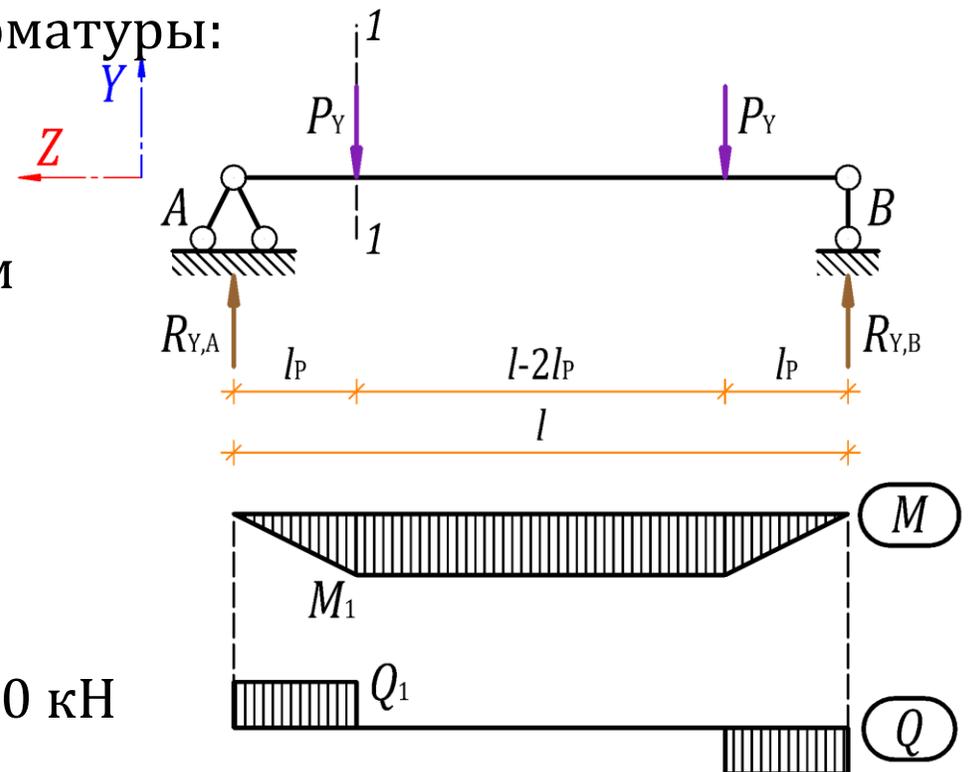
$A_s = 1140$ мм² (3Ø22 мм) и $A'_s = 226$ мм² (2Ø12 мм)

Определим расчетные (нормативные) значения внутренних усилий M_1 ($M_{1,ser}$) и Q_1 ($Q_{1,ser}$) методом сечений:

$$M_1 = R_{Y,A} l_P = 200 \cdot 1 = 200 \text{ кНм}$$

$$M_{1,ser} = \frac{M_1}{\gamma_{f,red}} = \frac{200}{1,25} = 160 \text{ кНм}$$

$$Q_1 = R_{Y,A} = P_Y = 200 \text{ кН} \quad \text{и} \quad Q_{1,ser} = Q_1 / \gamma_{f,red} = 160 \text{ кН}$$



Пример 1. Геометрические характеристики сечения

Определим площадь приведенного поперечного сечения элемента:

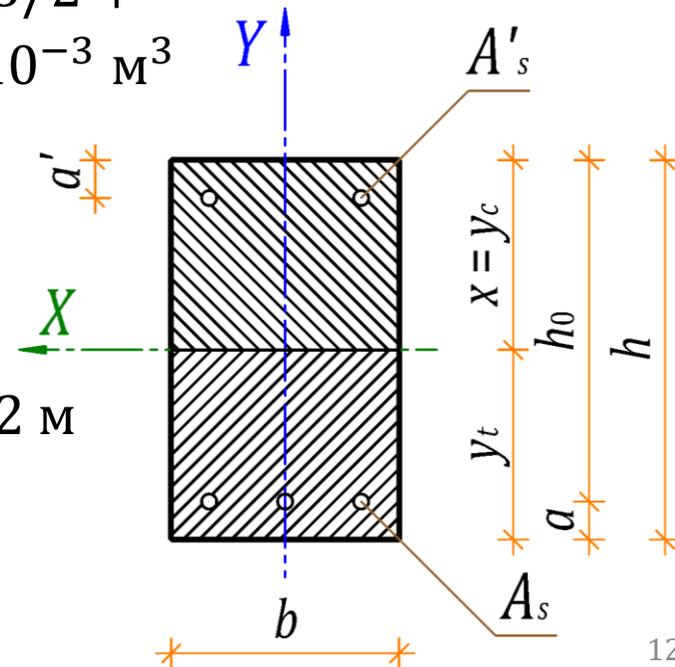
$$A_{red} = A + \alpha A_s + \alpha A'_s = 0,3 \cdot 0,5 + 6,7 \cdot (1140 + 226) \cdot 10^{-6} = 159,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Определим статический момент площади приведенного поперечного сечения элемента относительно наиболее растянутого волокна бетона:

$$S_{x,t,red} = Ah/2 + \alpha A_s a + \alpha A'_s (h - a') = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,5/2 + 6,7 \cdot (1140 \cdot 50 + 226 \cdot (500 - 50)) \cdot 10^{-9} = 38,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента:

$$y_t = \frac{S_{x,t,red}}{A_{red}} = \frac{Ah/2 + \alpha A_s a + \alpha A'_s (h - a')}{A + \alpha A_s + \alpha A'_s} = \frac{38,6 \cdot 10^{-3}}{159,2 \cdot 10^{-3}} = 0,242 \text{ м}$$



Пример 1. Геометрические характеристики сечения

Определим момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести:

$$I_{x,red} = I_x + \alpha I_{x,s} + \alpha I'_{x,s} = (3125 + 6,7 \cdot (42 + 10)) \cdot 10^{-6} = 3473 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

где $I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12} = 3125 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$

$$I_{x,s} = A_s (y_t - a)^2 = 1140 \cdot (242 - 50)^2 \cdot 10^{-12} = 42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$I'_{x,s} = A'_s (y_c - a')^2 = 226 \cdot (500 - 242 - 50)^2 \cdot 10^{-12} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Определим упругий момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона:

$$W_{x,t,red} = \frac{I_{x,red}}{y_t} = \frac{3473 \cdot 10^{-6}}{0,242} = 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Пример 1. Расчет по образованию трещин

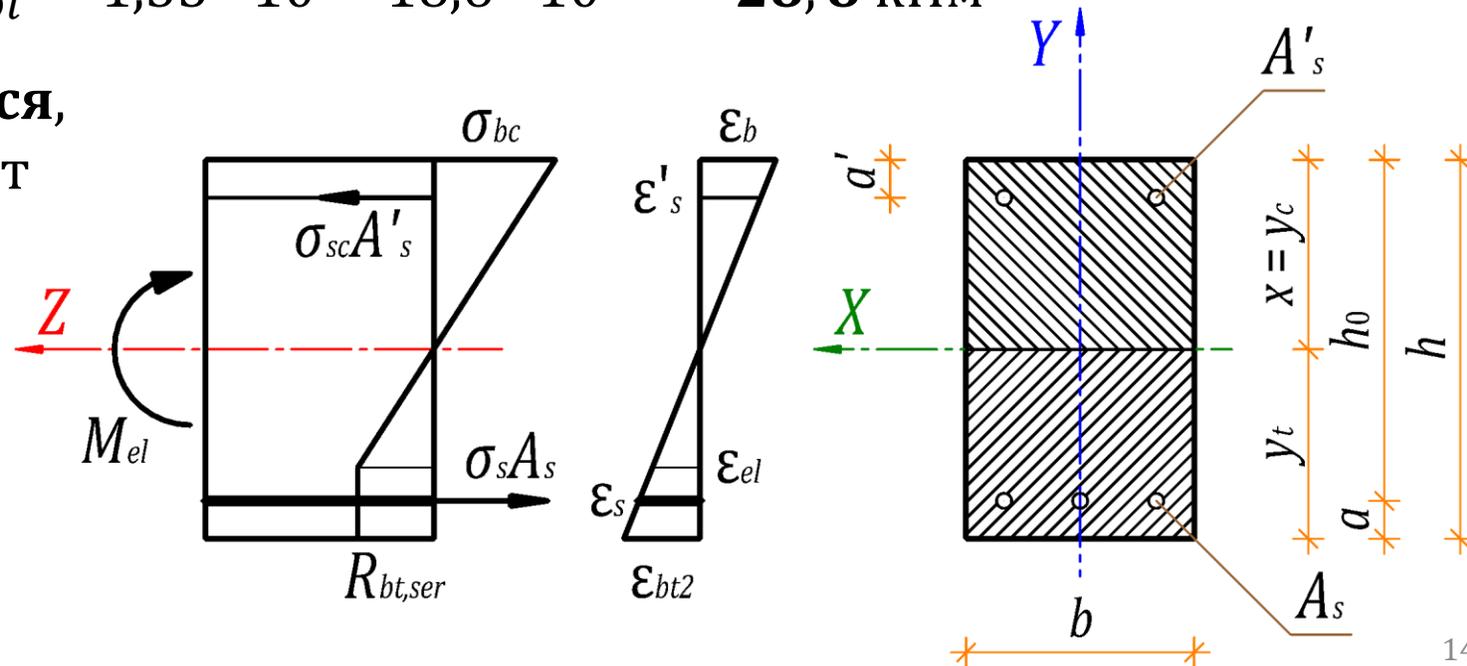
Определим упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона:

$$W_{pl} = 1,3W_{x,t,red} = 1,3 \cdot 14,4 \cdot 10^{-3} = 18,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Проверим выполнение условия образования трещин:

$$M_{el} = \mathbf{160} \text{ кНм} > M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} = 1,55 \cdot 10^3 \cdot 18,6 \cdot 10^{-3} = \mathbf{28,8} \text{ кНм}$$

Нормальные трещины **образуются**, поскольку изгибающий момент от внешней нагрузки превышает упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона



Расчет по раскрытию трещин (п. 8.2.5, 8.2.6 СП 63)

С учетом продолжительности действия нагрузки производят из условия:

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

где a_{crc} – ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки

$a_{crc,ult}$ – предельно допустимая ширина раскрытия трещин

Непродолжительное раскрытие трещин определяют от совместного действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок, продолжительное – только от постоянных и временных длительных нагрузок

Значения $a_{crc,ult}$ для классов А240...А600, В500 принимают равными:

- 0,3 и 0,4 мм – из условия обеспечения сохранности арматуры при продолжительном и непродолжительном раскрытии соответственно
- 0,2 и 0,3 мм – из условия ограничения проницаемости конструкций при продолжительном и непродолжительном раскрытии соответственно

Ширина раскрытия трещин a_{crc}

Нормальных к продольной оси элемента, равна разности удлинений арматуры и растянутого бетона на участке между трещинами длиной l_s :

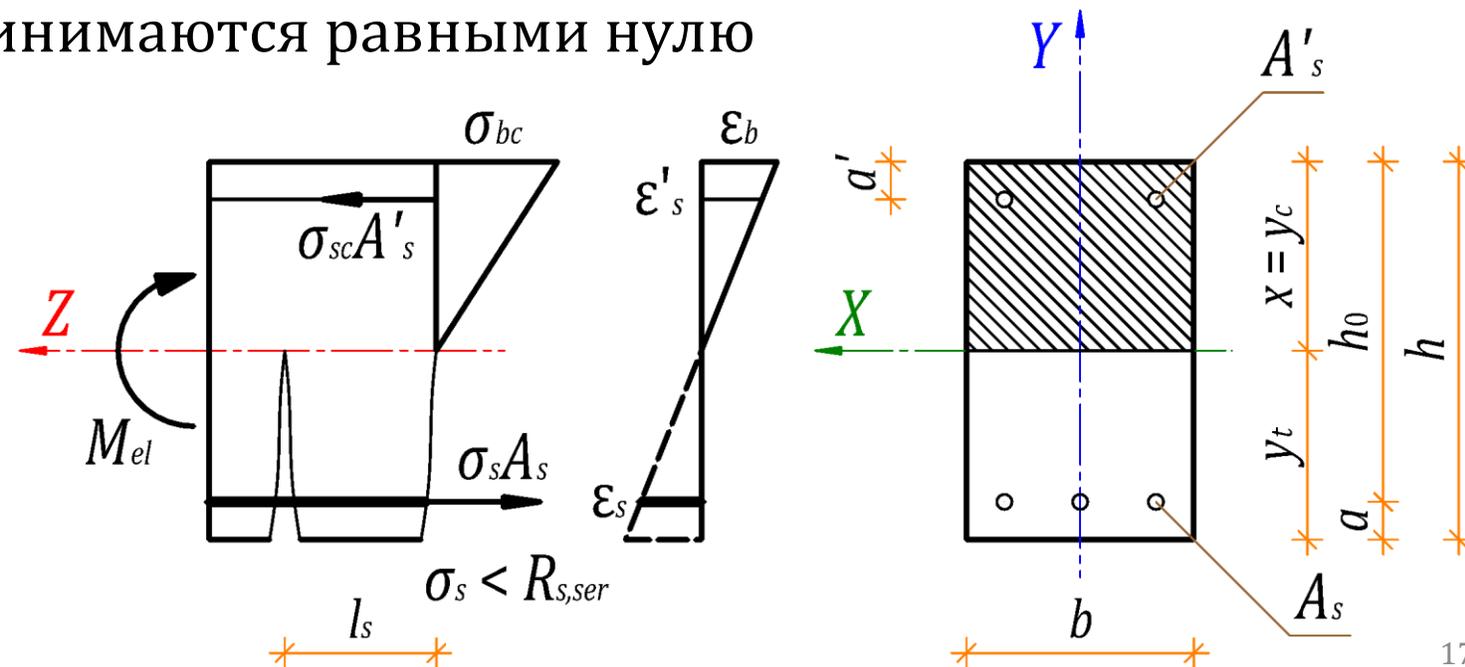
$$a_{crc} = \varepsilon_{sm} \cdot l_s - \varepsilon_{btm} \cdot l_s \rightarrow a_{crc} = \varepsilon_{sm} \cdot l_s$$

где ε_{sm} – средние деформации растянутой арматуры

$\varepsilon_{btm} \cong 0$ – средние деформации растянутого бетона на участке между трещинами в силу малости принимаются равными нулю

l_s – базовое расстояние между смежными нормальными трещинами

a_{crc} – ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки



Ширина раскрытия трещин a_{crc}

Вводя обозначение ψ_s , равное отношению средних деформаций растянутой арматуры ε_{sm} на участке l_s к деформациям арматуры в сечении с трещиной ε_s :

$$\psi_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s} \leq 1 \rightarrow \varepsilon_{sm} = \psi_s \cdot \varepsilon_s,$$

предыдущее выражение $a_{crc} = \varepsilon_{sm} \cdot l_s$ можно записать в виде:

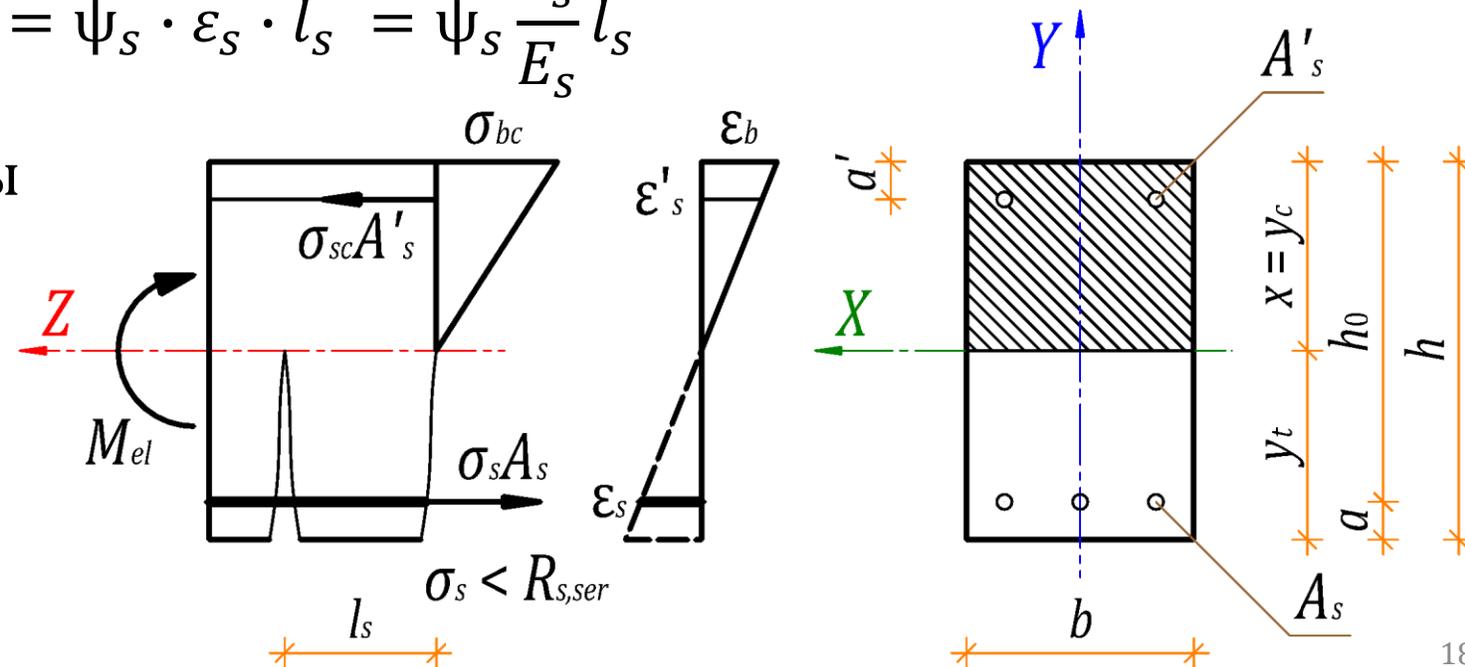
$$a_{crc} = \psi_s \cdot \varepsilon_s \cdot l_s = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s$$

$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$ – деформации арматуры

в сечении с трещиной

σ_s – напряжение в арматуре

E_s – модуль упругости арматуры



Ширина раскрытия трещин (п. 8.2.7 СП 63)

С учетом **продолжительного** действия нагрузки определяется по формуле:

$$a_{crc} = a_{crc1}$$

С учетом **непродолжительного** действия нагрузки определяется по формуле:

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

где a_{crc1} – ширина раскрытия трещин от **продолжительного** действия постоянных и временных длительных нагрузок

a_{crc2} – ширина раскрытия трещин от **непродолжительного** действия постоянных и временных (длительных и кратковременных) нагрузок

a_{crc3} – ширина раскрытия трещин от **непродолжительного** действия постоянных и временных длительных нагрузок

Расчет ширины раскрытия трещин (п. 8.2.15 СП 63)

Нормальных к продольной оси элемента выполняется по формуле:

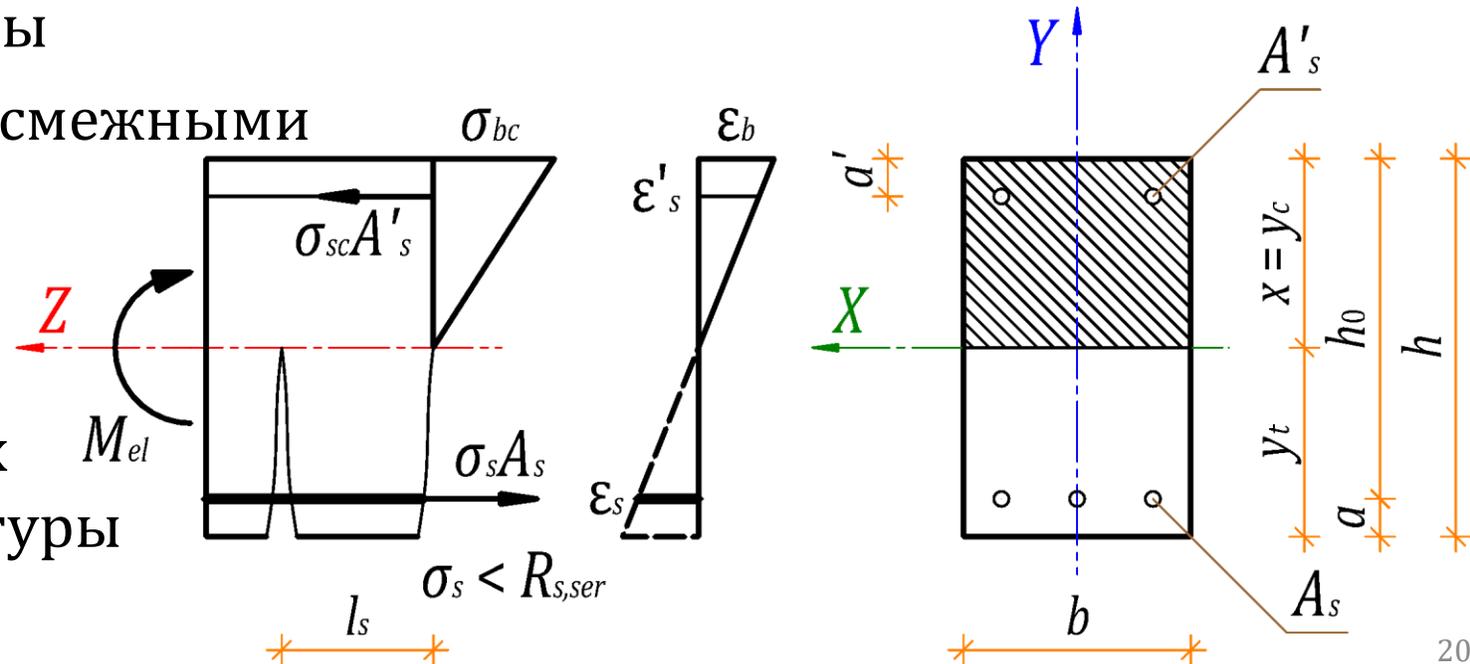
$$a_{crc(1,2,3)} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s$$

где σ_s – напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки

E_s – модуль упругости арматуры

l_s – базовое расстояние между смежными нормальными трещинами

ψ_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами



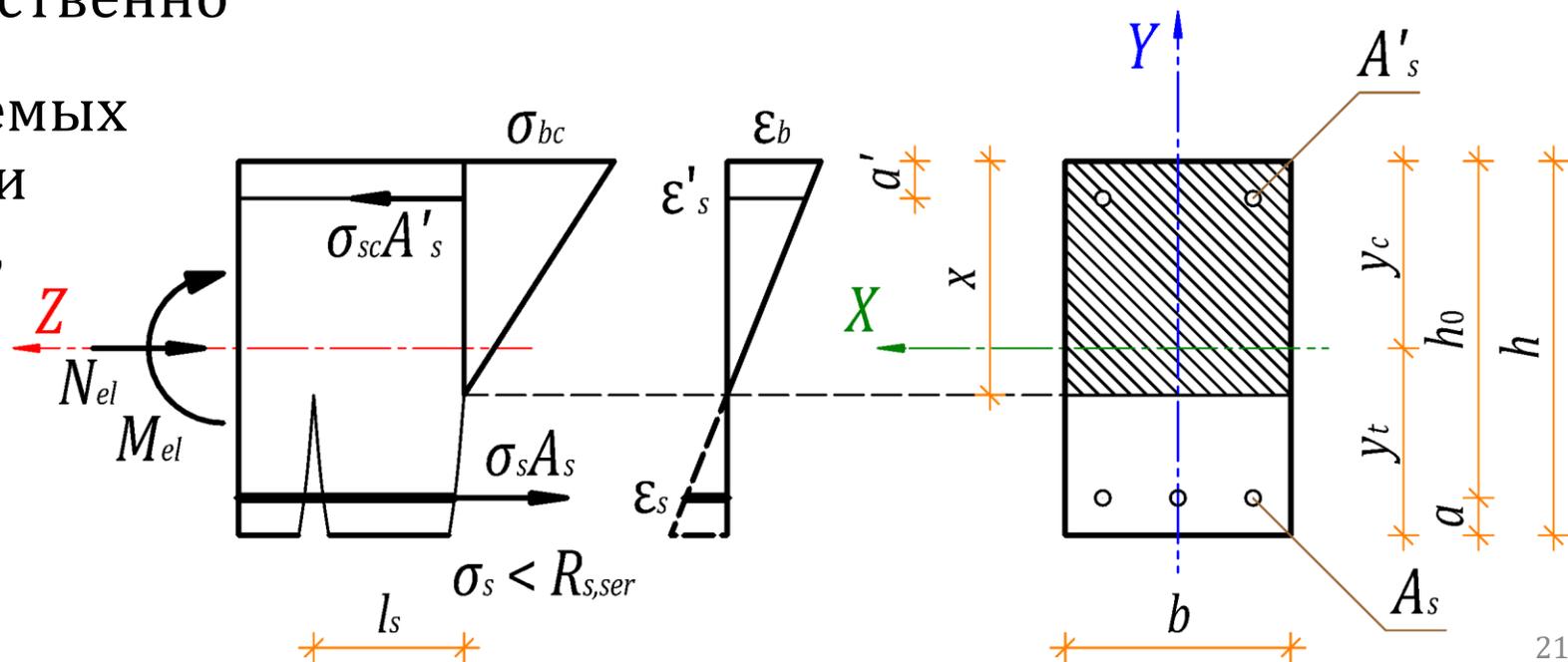
Коэффициенты $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ (п. 8.2.15 СП 63)

Учитывают продолжительность действия нагрузки, профиль продольной арматуры и характер нагружения, соответственно, и принимаются равными:

$\varphi_1 = 1,0$ и $1,4$ – при непродолжительном и продолжительном действии нагрузки, соответственно

$\varphi_2 = 0,5$ и $0,8$ – для арматуры периодического профиля или канатной и для гладкой арматуры, соответственно

$\varphi_3 = 1,0$ и $1,2$ – для изгибаемых или внецентренно сжатых и для растянутых элементов, соответственно



Напряжения в растянутой арматуре (п. 8.2.16 СП 63)

Изгибаемых элементов в нормальных к продольной оси сечениях определяются по формуле:

$$\sigma_s = \frac{M(h_0 - y_c)}{I_{x,red}} \alpha_{s1} \leq R_{s,ser}$$

где M – изгибающий момент от соответствующей внешней нагрузки

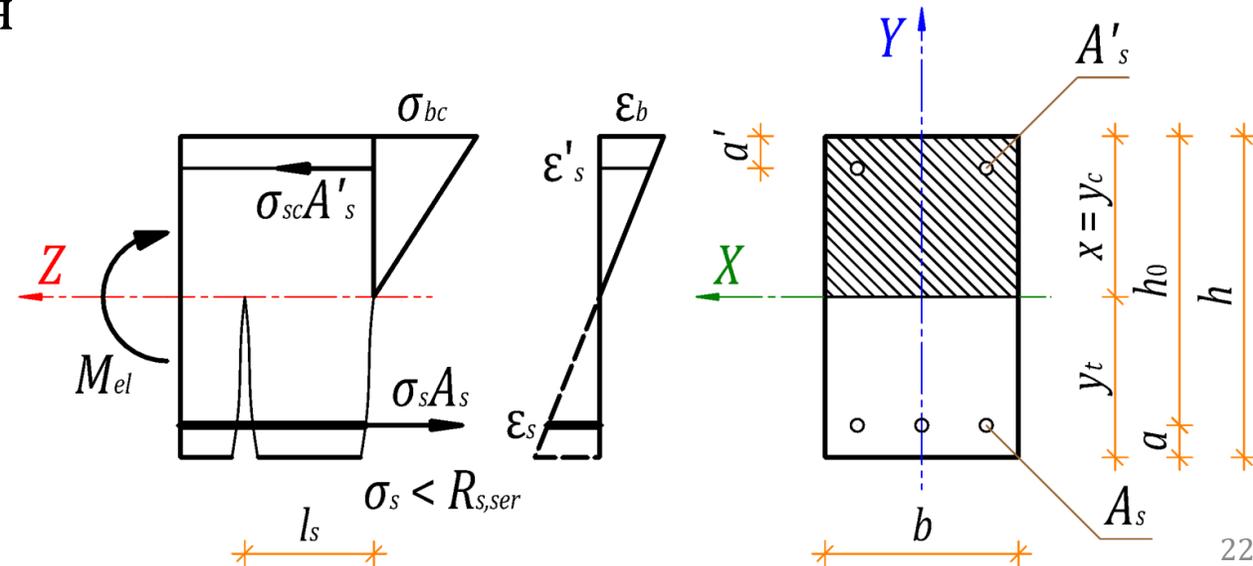
$I_{x,red}$ и y_c – момент инерции и высота сжатой зоны сечения с учетом трещины

$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}}$ – коэффициент приведения

$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}}$ – приведенный

модуль деформации сжатого бетона

$\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$ – относительная приведенная деформация бетона



Геометрические характеристики (п. 8.2.27 СП 63)

Площадь приведенного поперечного сечения элемента с трещиной определяется по формуле:

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s2}A_s + \alpha_{s1}A'_s$$

где A_s , A'_s и $A_b = bx$ – площадь сечений растянутой и сжатых арматуры и бетона

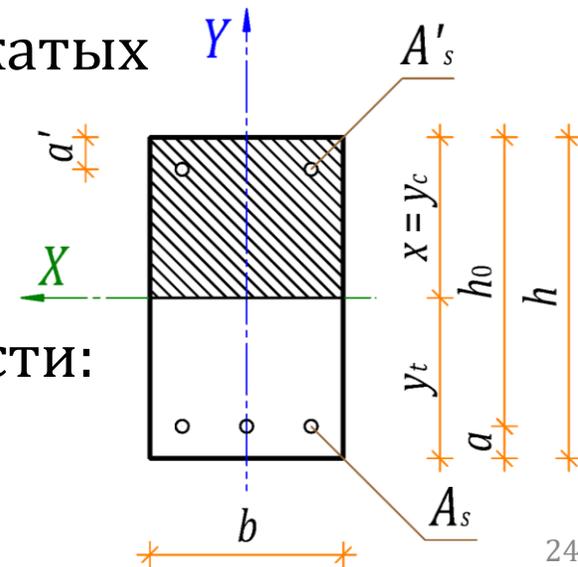
Момент инерции приведенного поперечного сечения элемента с трещиной определяется по формуле:

$$I_{x,red} = I_{x,b} + \alpha_{s2}I_{x,s} + \alpha_{s1}I'_{x,s}$$

где $I_{x,s}$, $I'_{x,s}$ и $I_{x,b}$ – моменты инерции сечений растянутой и сжатых арматуры и бетона, соответственно

Высоту сжатой зоны бетона в изгибаемых элементах определяют на основе равенства нулю статического момента поперечного сечения с трещиной относительно центра тяжести:

$$S_{x,b0} + \alpha_{s1}S'_{x,s0} = \alpha_{s2}S_{x,s0}$$



Высота сжатой зоны бетона (п. 8.2.28 СП 63)

В изгибаемых элементах находится на основе решения квадратного уравнения относительно x :

$$bx^2 + 2(\alpha_{s1}A'_s + \alpha_{s2}A_s)x - 2(\alpha_{s1}A'_sa' + \alpha_{s2}A_sh_0) = 0$$

$$x = \frac{\sqrt{(\alpha_{s1}A'_s + \alpha_{s2}A_s)^2 + 2b(\alpha_{s1}A'_sa' + \alpha_{s2}A_sh_0)} - (\alpha_{s1}A'_s + \alpha_{s2}A_s)}{b}$$

$$x = h_0 \left[\sqrt{(\alpha_{s1}\mu'_s + \alpha_{s2}\mu_s)^2 + 2(\alpha_{s1}\mu'_s \frac{a'}{h_0} + \alpha_{s2}\mu_s)} - (\alpha_{s1}\mu'_s + \alpha_{s2}\mu_s) \right]$$

Высота сжатой зоны бетона в изгибаемых элементах таврового сечения:

$$x = h_0 \left[\sqrt{(\alpha_{s1}\mu'_s + \alpha_{s2}\mu_s + \mu'_f)^2 + 2 \left(\alpha_{s1}\mu'_s \frac{a'}{h_0} + \alpha_{s2}\mu_s + \mu'_f \frac{h'_f}{2h_0} \right)} - (\alpha_{s1}\mu'_s + \alpha_{s2}\mu_s + \mu'_f) \right]$$

где $\mu_s = A_s/(bh_0)$ и $\mu'_s = A'_s/(bh_0)$ – проценты армирования
 $\mu'_f = A'_f/(bh_0)$, A'_f – площадь сечения свесов сжатой полки

Моменты инерции сжатой зоны бетона (п. 8.2.27 СП 63)

В прямоугольных и тавровых сечениях с трещиной в изгибаемых элементах определяются по следующим формулам:

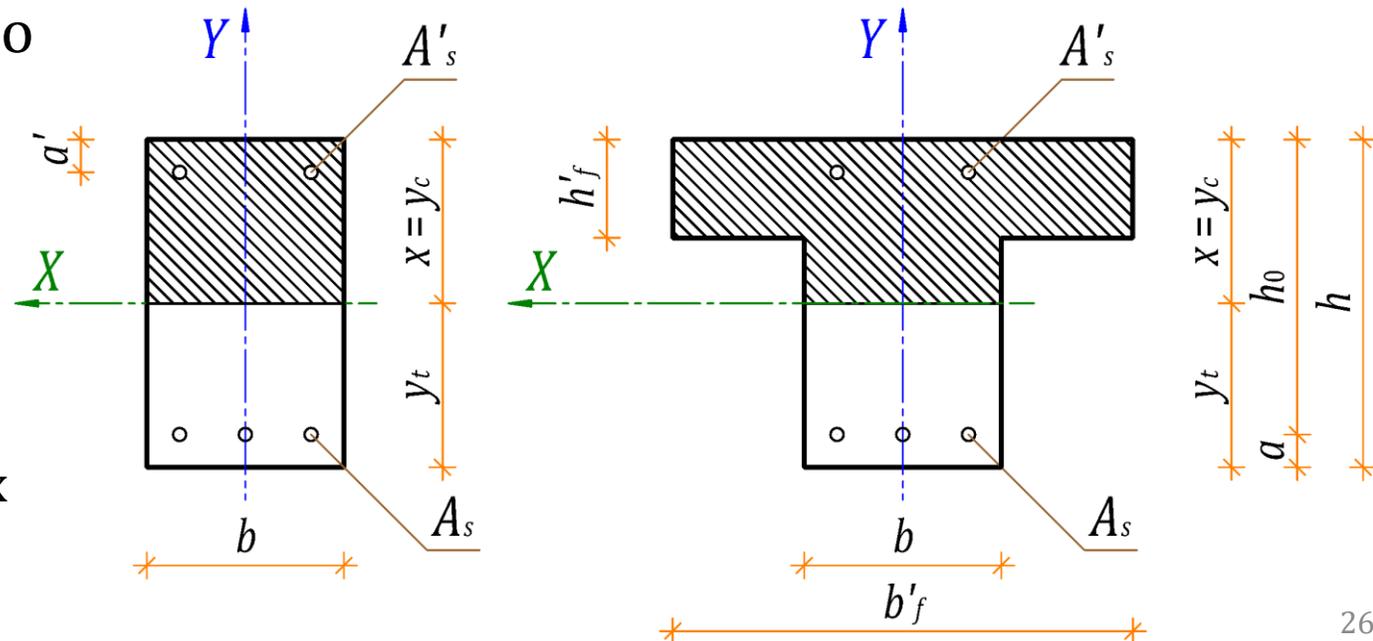
$$I_{x,b} = \frac{bx^3}{12} + \frac{bx^3}{4} = \frac{bx^3}{3} \quad \text{и} \quad I_{x,b} = \frac{bx^3}{3} + \frac{(b'_f - b)h_f'^3}{12} + (b'_f - b)h'_f \left(x - \frac{h'_f}{2}\right)^2$$

Моменты инерции растянутой и сжатой арматуры определяются по формулам:

$$I_{x,s} = A_s(h_0 - x)^2$$

$$I'_{x,s} = A'_s(x - a')^2$$

Моменты инерции арматуры относительно собственных центральных осей пренебрегают в силу их малости



Коэффициент ψ_s (п. 8.2.18 СП 63)

Учитывает работу растянутого бетона между трещинами и определяется по формуле:

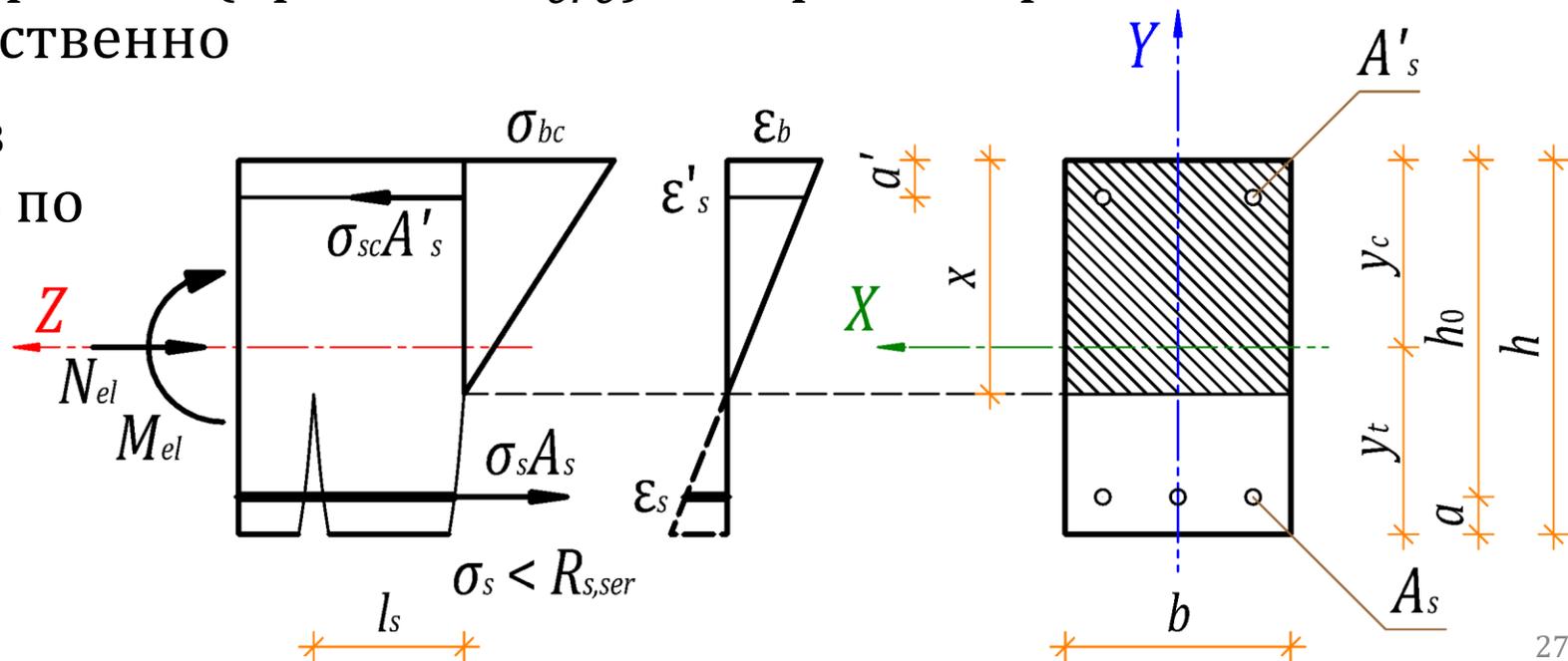
$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} \leq 1 \quad \text{и} \quad \psi_{s,l} = 1 - 0,8 \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_{s,l}} \leq 1$$

где $\sigma_{s,crc}$ и σ_s – напряжения в продольной растянутой арматуре сразу после образования нормальных трещин (при $M = M_{crc}$) и от рассматриваемой внешней нагрузки, соответственно

Для изгибаемых элементов допускается ψ_s определять по формуле:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M_{ser}} \leq 1$$

$$\psi_{s,l} = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M_{ser,l}} \leq 1$$



Коэффициенты приведения α_{s1} и α_{s2} (п. 8.2.30 СП 63)

Арматуры к бетону определяются по следующим формулам:

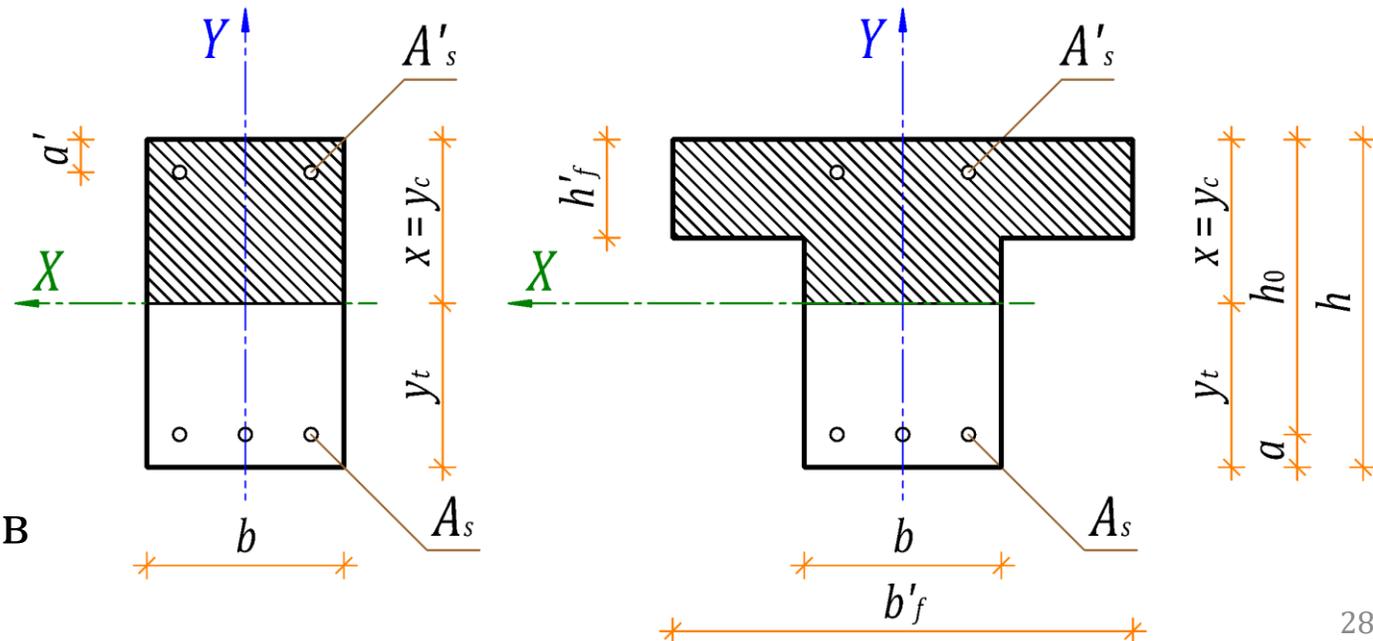
$$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} - \text{для сжатой} \quad \text{и} \quad \alpha_{s2} = \frac{E_{s,red}}{E_{b,red}} - \text{для растянутой}$$

$E_{b,red} = \frac{R_{b,ser}}{\varepsilon_{b1,red}}$ – приведенный модуль деформации сжатого бетона

$\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$ – относительная приведенная деформация бетона

$E_{s,red} = \frac{E_s}{\psi_s}$ – приведенный модуль деформации растянутой арматуры с учетом влияния работы растянутого бетона между трещинами

$\alpha_{s2} = \alpha_{s1}$ – для изгибаемых элементов



Пример 2. Расчет балки по раскрытию трещин

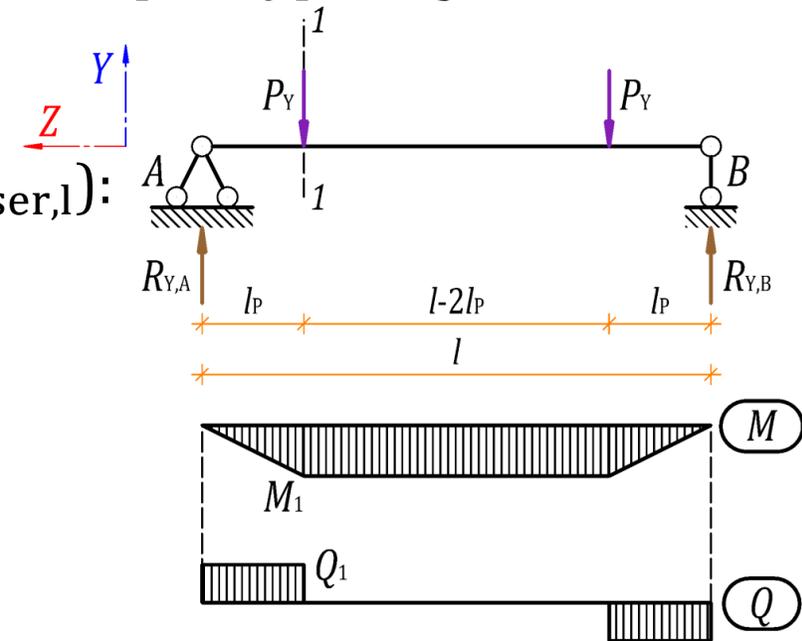
Дано: монолитная железобетонная балка из Примера 1, сечением $b \times h - 300 \times 500$ мм пролетом $l = 3,0$ м, $a = a' = 50$ мм, бетон класса В25 ($E_b = 30000$ МПа, $R_{b,ser} = 18,5$ МПа, $R_{bt,ser} = 1,55$ МПа), арматура класса А500 ($E_s = 200000$ МПа, $R_s = 435$ МПа, $R_{sc} = 400(435)$ МПа), полная нагрузка $P_Y = 200$ кН, в том числе постоянная и длительная нагрузка $P_{Yl} = 160$ кН, приложенная на расстоянии $l_p = 1,0$ м от опор, шарнирные узлы сопряжения, осредненный $\gamma_{f,red} = 1,25$, площадь продольной арматуры: $A_s = 1140$ мм² (3Ø22 мм) и $A'_s = 226$ мм² (2Ø12 мм)

Определим непродолжительные (продолжительные) нормативные значения изгибающих моментов $M_{1,ser}$ ($M_{1,ser,l}$):

$$M_1 = R_{Y,A} l_p = 200 \cdot 1 = 200 \text{ кНм}$$

$$M_{1,ser} = \frac{M_1}{\gamma_{f,red}} = \frac{200}{1,25} = 160 \text{ кНм}$$

$$M_{1,ser,l} = M_{1,ser} \frac{P_{Yl}}{P_Y} = 160 \cdot \frac{160}{200} = 128 \text{ кНм}$$



Пример 2. Высота сжатой зоны бетона

Определим высоту сжатой зоны бетона с учетом трещины:

$$x = h_0 \left[\sqrt{(\alpha_{s1}\mu'_s + \alpha_{s2}\mu_s)^2 + 2(\alpha_{s1}\mu'_s \frac{a'}{h_0} + \alpha_{s2}\mu_s) - (\alpha_{s1}\mu'_s + \alpha_{s2}\mu_s)} \right] =$$

$$= 0,45 \cdot \left[\sqrt{16,2^2 \cdot (0,0084 + 0,0017)^2 + 2 \cdot 16,2 \cdot \left(0,0017 \cdot \frac{0,05}{0,45} + 0,0084 \right) - 16,2 \cdot (0,0084 + 0,0017)} \right] = 0,175 \text{ м}$$

где $\alpha_{s1} = \alpha_{s2} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{E_s \varepsilon_{b1,red}}{R_{b,ser}} = \frac{200000 \cdot 0,0015}{18,5} = 16,2$ – коэффициенты приведения

$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{1140}{300 \cdot 450} = 0,0084$ и $\mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0} = \frac{226}{300 \cdot 450} = 0,0017$ – проценты армирования

Пример 2. Моменты инерции и коэффициент ψ_s

Определим момент инерции приведенного сечения элемента с трещиной относительно его центра тяжести:

$$I_{x,red} = I_{x,b} + \alpha_{s2}I_{x,s} + \alpha_{s1}I'_{x,s} = (536 + 16,2 \cdot (86 + 4)) \cdot 10^{-6} = 1994 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

где $I_{x,b} = \frac{bx^3}{3} = \frac{0,3 \cdot 0,175^3}{3} = 536 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$

$$I_{x,s} = A_s(h_0 - x)^2 = 1140 \cdot (450 - 175)^2 \cdot 10^{-12} = 86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$I'_{x,s} = A'_s(x - a')^2 = 226 \cdot (175 - 50)^2 \cdot 10^{-12} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Определим коэффициент ψ_s , учитывающий работу бетона между трещинами:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M_{ser}} = 1 - 0,8 \cdot \frac{28,9}{160} = 0,86 \leq 1 \quad \text{и} \quad \psi_{s,l} = 1 - 0,8 \cdot \frac{28,9}{128} = 0,82 \leq 1$$

Пример 2. Напряжения в растянутой арматуре и расстояние l_s

Определим напряжения в растянутой арматуре от непродолжительного и продолжительного действия нагрузки:

$$\sigma_s = \frac{M_{ser}(h_0 - y_c)}{I_{x,red}} \alpha_{s1} = \frac{160 \cdot (0,45 - 0,175)}{1994 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} \cdot 16,2 = 357,5 \text{ МПа} \leq R_{s,ser} = 500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{s,l} = \frac{M_{ser,l}(h_0 - y_c)}{I_{x,red}} \alpha_{s1} = \frac{128 \cdot (0,45 - 0,175)}{1994 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} \cdot 16,2 = 286,0 \text{ МПа} \leq R_{s,ser} = 500 \text{ МПа}$$

Определим расстояние между нормальными трещинами:

$$0,1 \text{ м} \leq l_s = 0,5 \frac{A_{bt}}{A_s} d_s = 0,5 \cdot \frac{0,0726}{1140 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,022 = 0,7 \text{ м} > 0,4 \text{ м} - \text{принимаем } l_s = 0,4 \text{ м}$$

$$2ab = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,3 = 0,03 \text{ м}^2 \leq A_{bt} = by_t = 0,3 \cdot 0,242 = 0,0726 \text{ м}^2 \leq \frac{bh}{2} = \frac{0,3 \cdot 0,5}{2} = 0,075 \text{ м}^2$$

Пример 2. Ширина раскрытия трещин a_{crc}

Определим a_{crc} с учетом **продолжительного** действия нагрузки:

$$a_{crc1} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_{s,l} \frac{\sigma_{s,l}}{E_s} l_s = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,82 \cdot \frac{286,0}{200000} \cdot 0,4 \cdot 10^3 = \mathbf{0,33} \text{ мм} > \mathbf{0,3} \text{ мм}$$

Определим a_{crc} с учетом **непродолжительного** действия нагрузки:

$$a_{crc2} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,86 \cdot \frac{357,5}{200000} \cdot 0,4 \cdot 10^3 = \mathbf{0,31} \text{ мм}$$

$$a_{crc3} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_{s,l} \frac{\sigma_{s,l}}{E_s} l_s = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,82 \cdot \frac{286,0}{200000} \cdot 0,4 \cdot 10^3 = \mathbf{0,23} \text{ мм}$$

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0,33 + 0,31 - 0,23 = \mathbf{0,41} \text{ мм} > \mathbf{0,4} \text{ мм}$$

Вывод: требуется **увеличить площадь** продольной растянутой **арматуры**

Литература:

- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции
- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия
- СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии
- Кумпяк О. Г., Самсонов В. С., Галяутдинов З. Р., Пахмурин О. Р. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 672 с.

ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр

Железобетонные и каменные конструкции

Практическое занятие №6



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; PekinDA@mgsu.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.