

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)

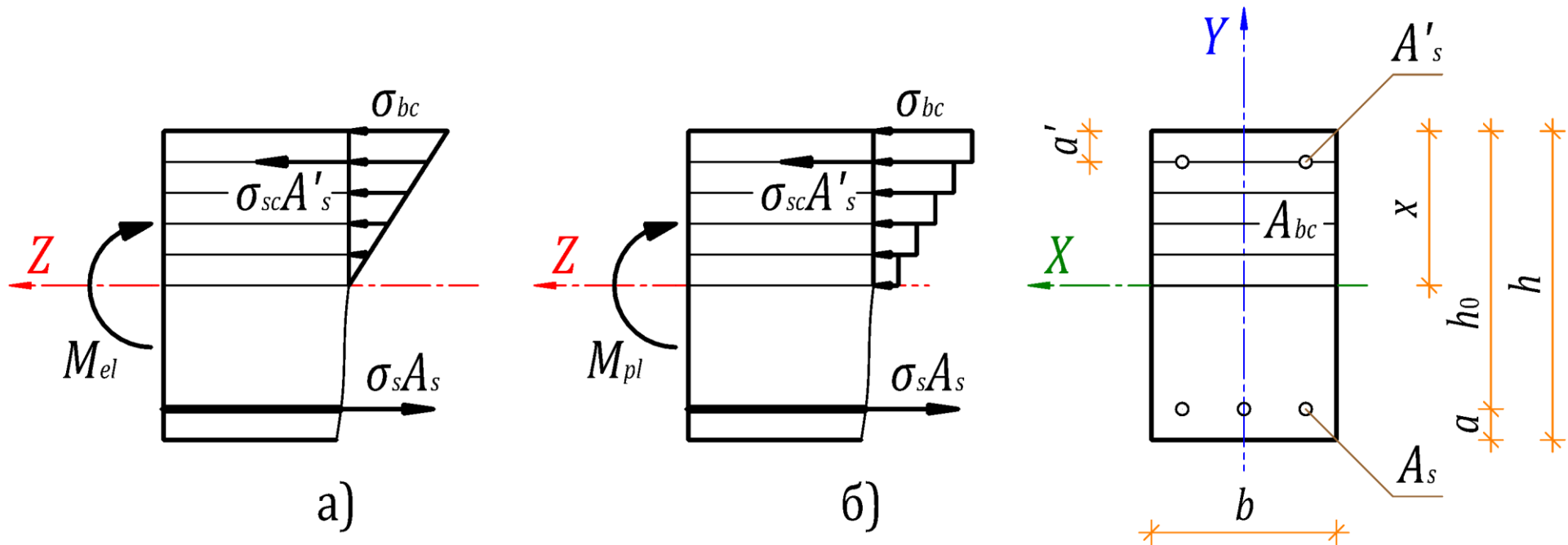
Расчет ЖБК простого сечения (п. 8.2.10, 8.2.27 СП 63)

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

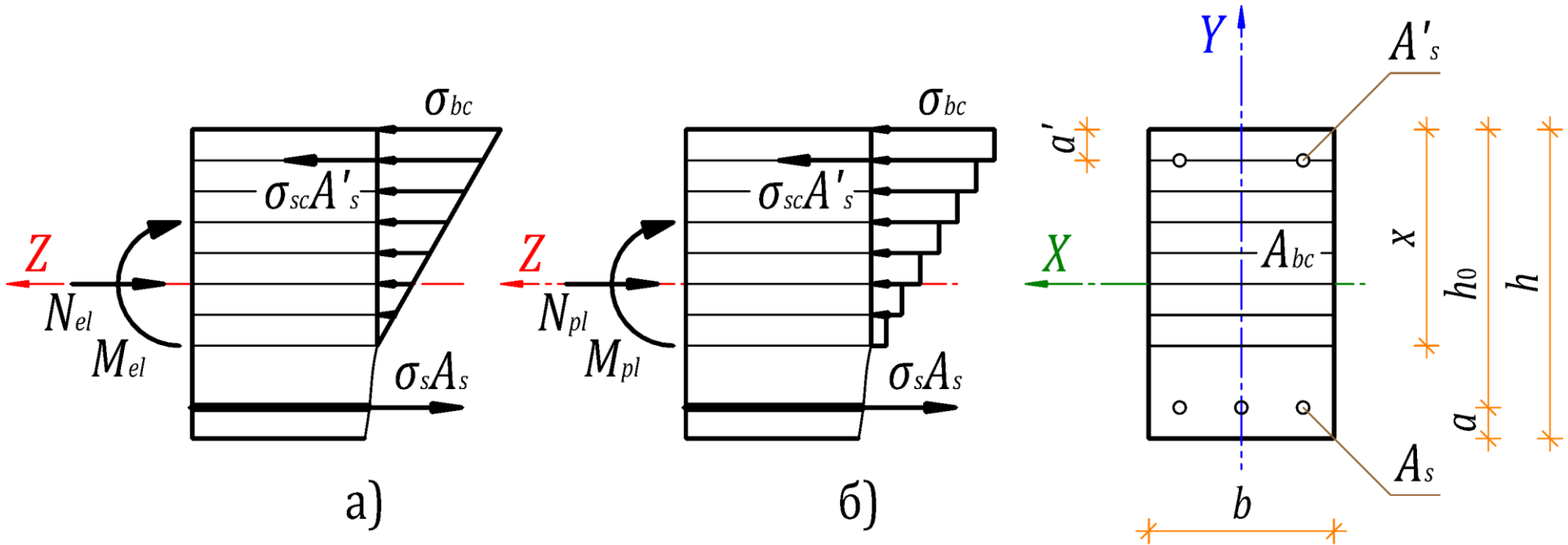
Эпюры нормальных напряжений в сечении с трещиной:

- 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:

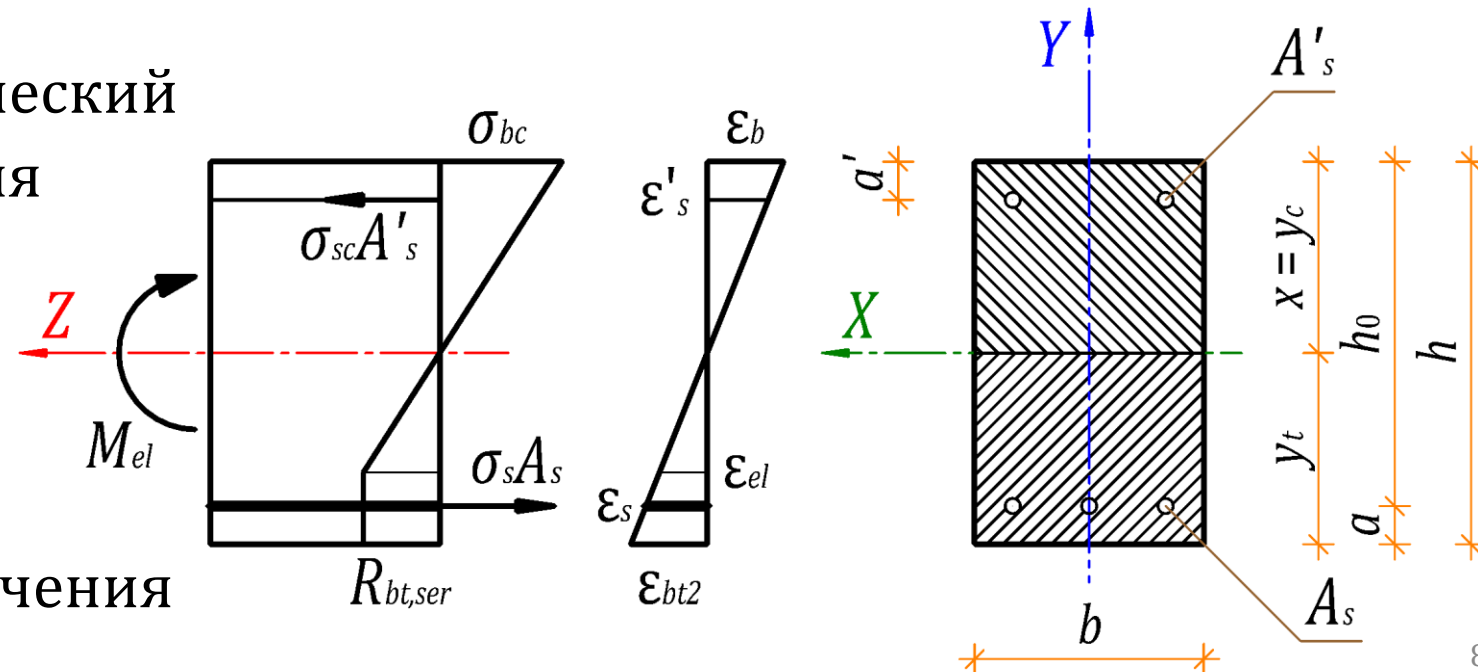
$$M_{el} > M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}$$

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)

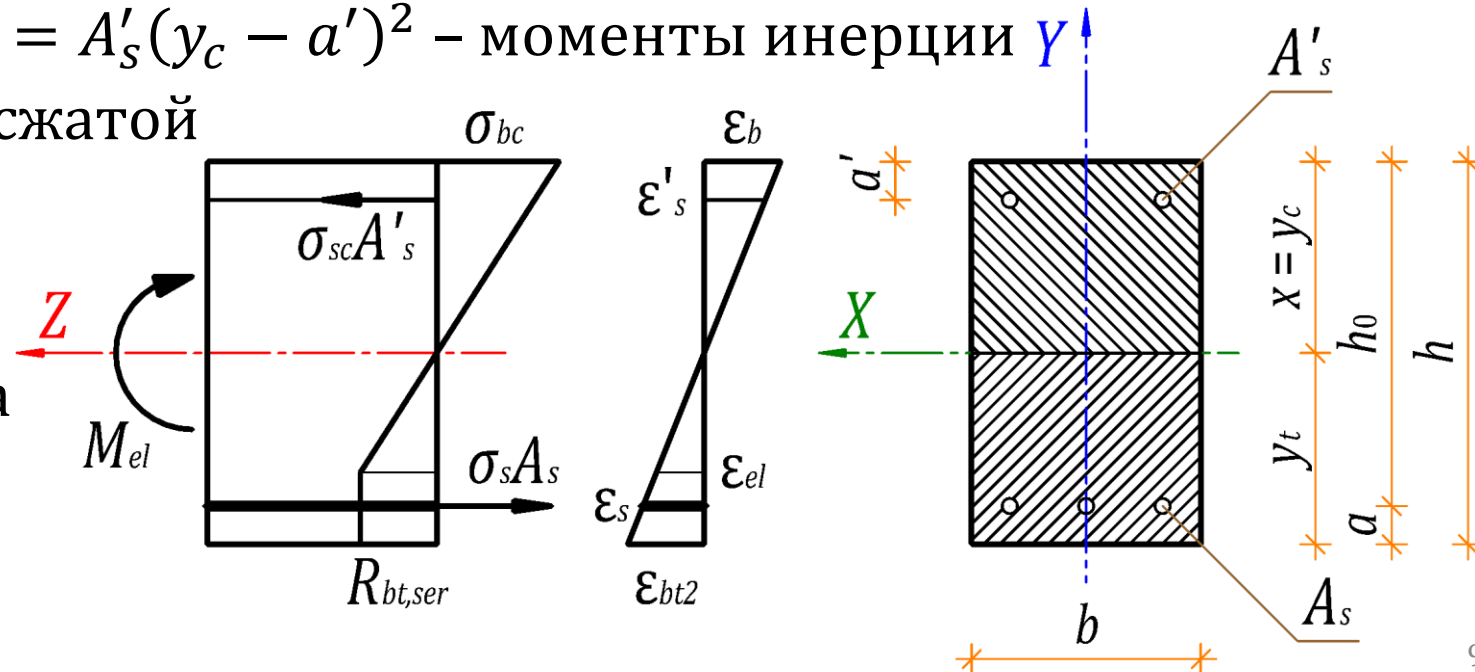
Для крайнего растянутого волокна бетона определяется по формуле:

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

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:

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

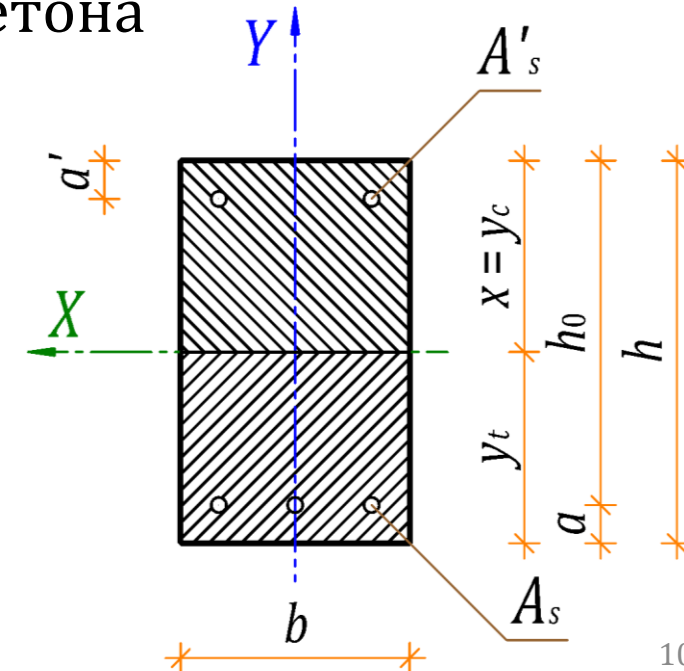
где A , A_s и A'_s – площадь сечений бетона, растянутой и сжатой арматуры

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:

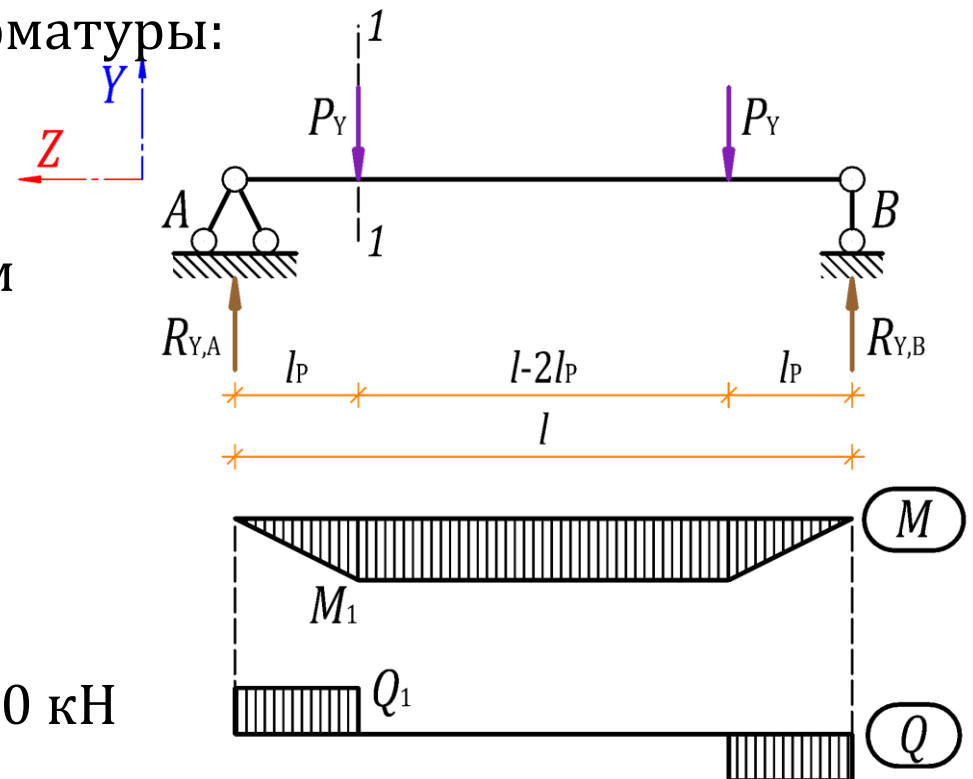
$A_s = 1140$ мм² (3Ø22 мм) и $A'_s = 226$ мм² (2Ø12 мм)

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:

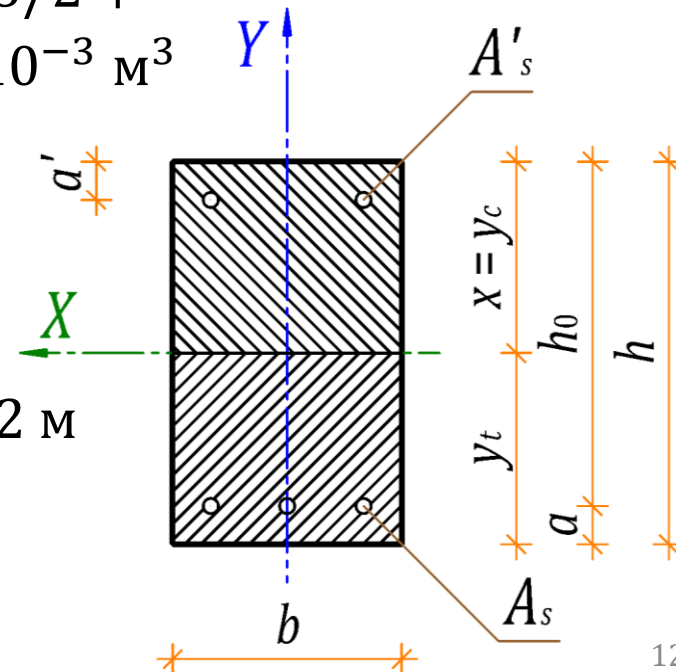
$$A_{red} = A + \alpha A_s + \alpha A'_s = 0,3 \cdot 0,5 + 6,7 \cdot (1140 + 226) \cdot 10^{-6} = 159,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

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

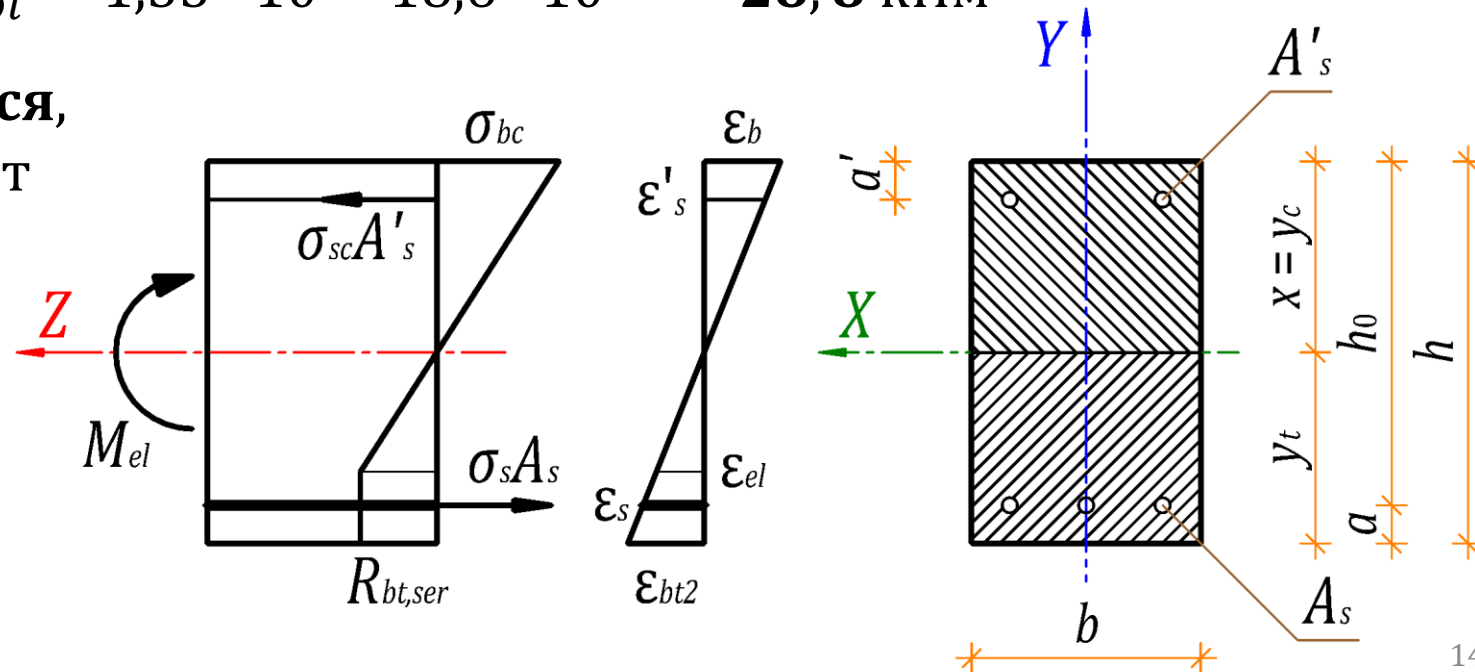
Определим упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона:

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

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 образованию трещин (п. 8.2.4, 8.2.11 СП 63)

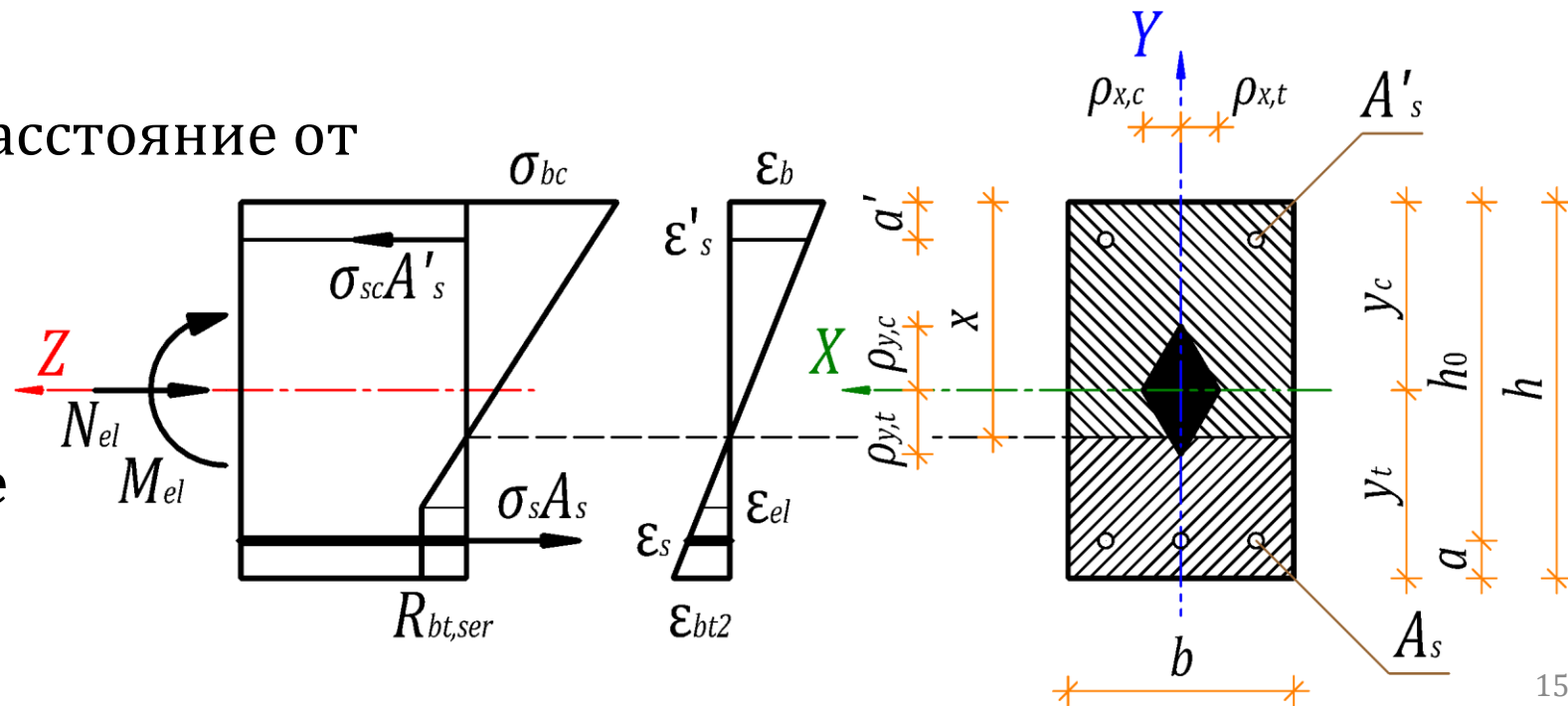
Внецентренно нагруженных элементов простого сечения выполняется по формуле:

$$M_{el} \geq M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} \pm N_{el} \rho_{y,c}$$

где N_{el} – продольная сила от внешней нагрузки, расположенная в центре тяжести приведенного поперечного сечения элемента (знак «+» для сжатия)

$$\rho_{y,c} = \frac{I_{x,red}}{A_{red} y_t} = \frac{W_{x,t,red}}{A_{red}} \text{ — расстояние от}$$

центра тяжести сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется



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 :

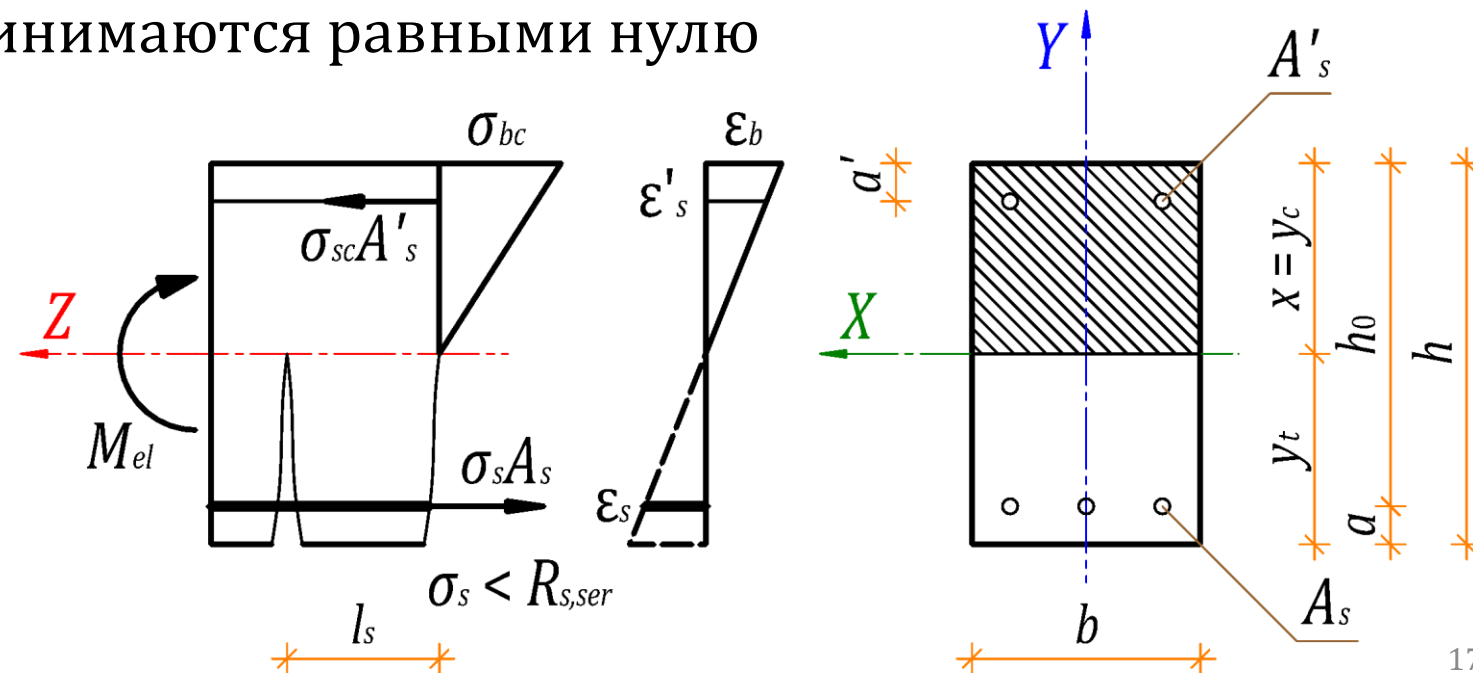
$$a_{crc} = \varepsilon_{sm} \cdot l_s - \varepsilon_{btm} \cdot l_s \rightarrow a_{crc} = \varepsilon_{sm} \cdot l_s$$

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:

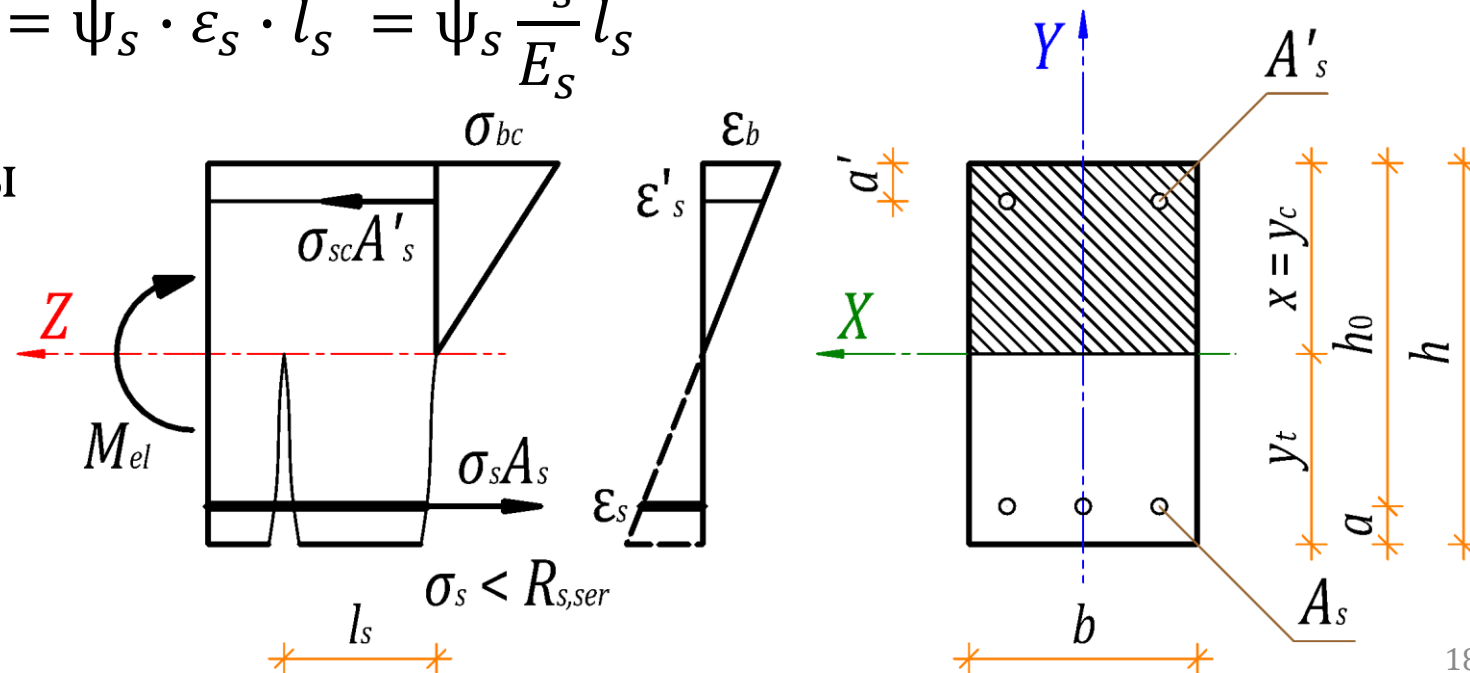
$$a_{crc} = \psi_s \cdot \varepsilon_s \cdot l_s = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s$$

$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$ – 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:

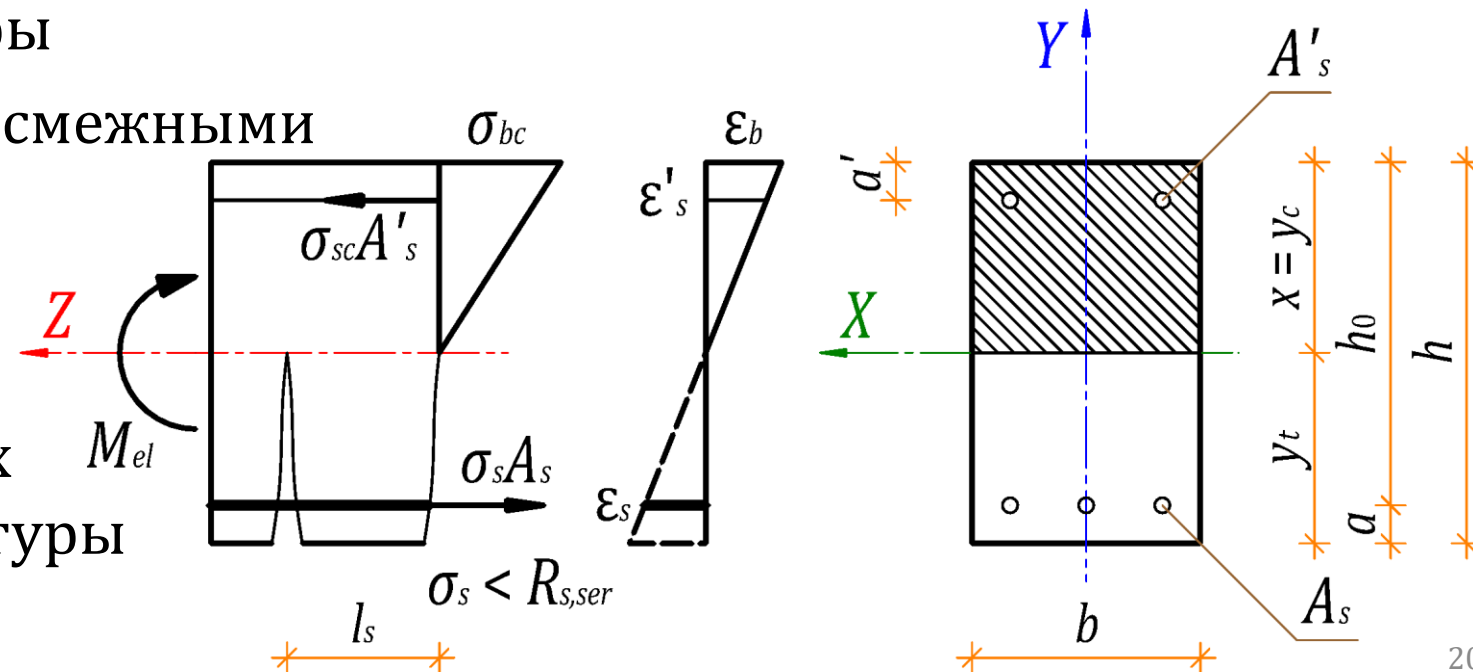
$$a_{crc(1,2,3)} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s$$

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



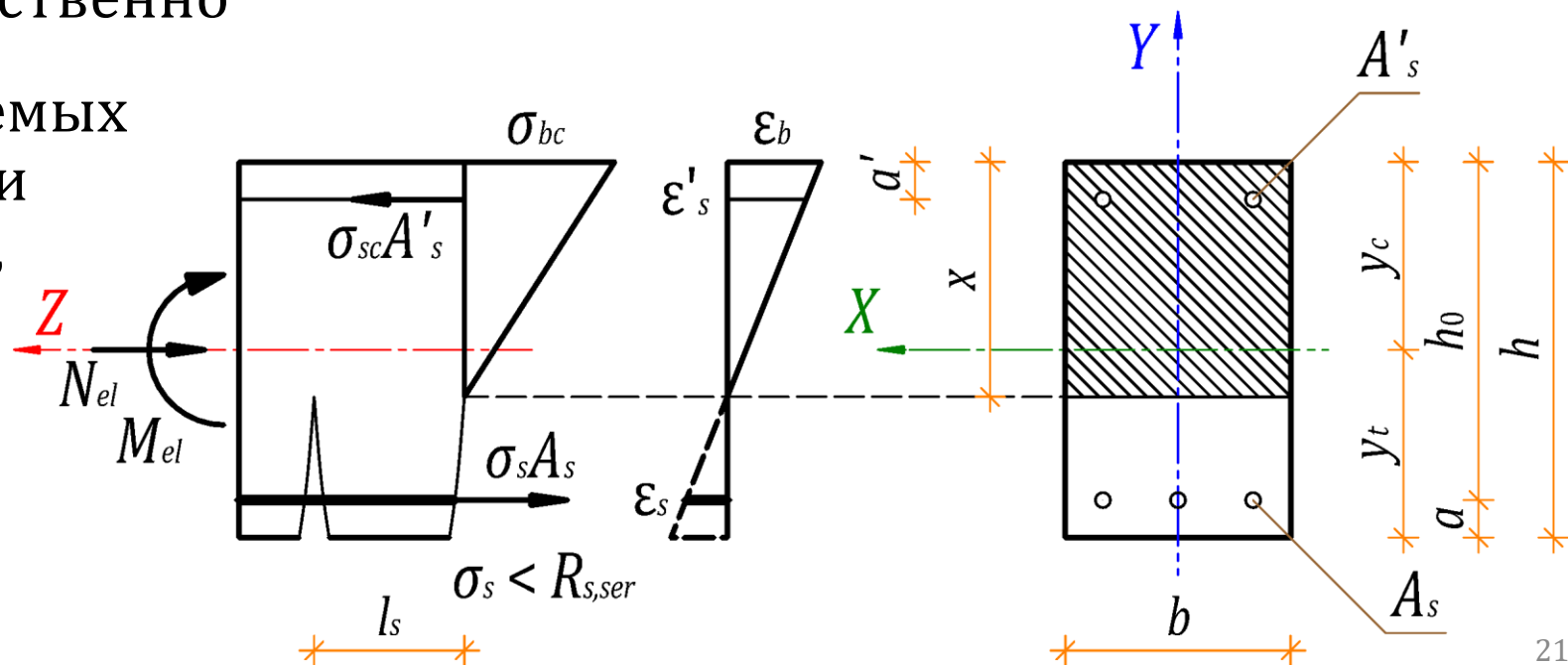
Коэффициенты $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ (п. 8.2.15 СП 63)

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)

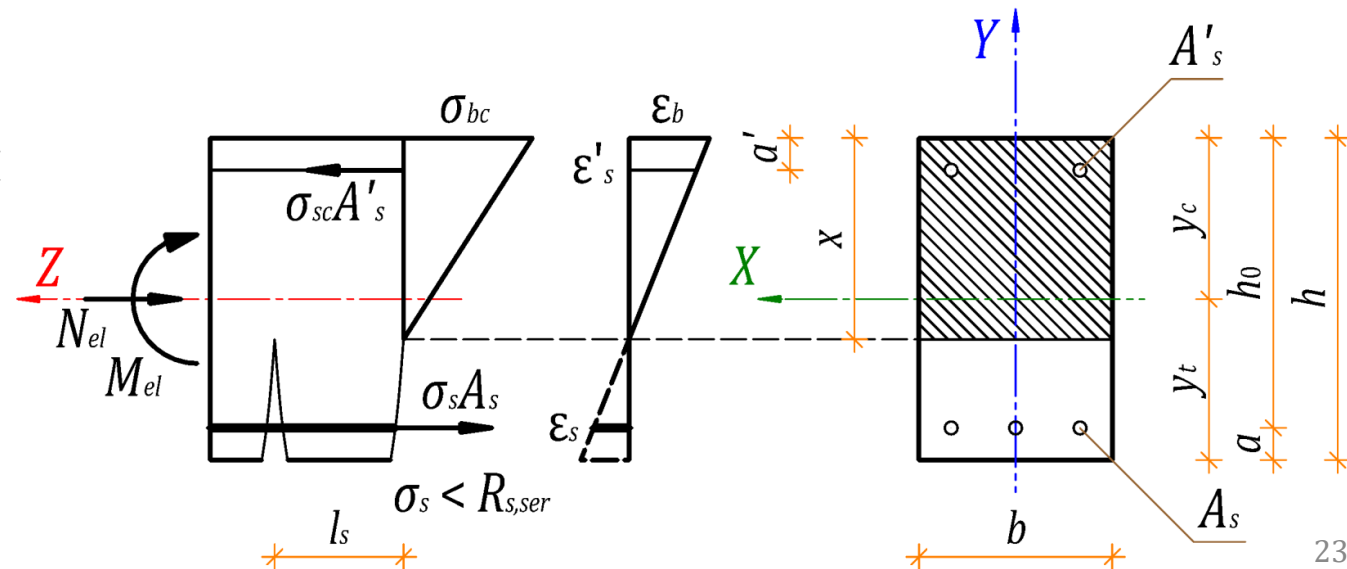
Внецентренно нагруженных элементов в нормальных к продольной оси сечениях определяются по формуле:

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

где M и N – внутренние усилия от соответствующей внешней нагрузки

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

« \pm » – знак "плюс" принимают при растягивающей, а знак "минус" при сжимающей продольной силе



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

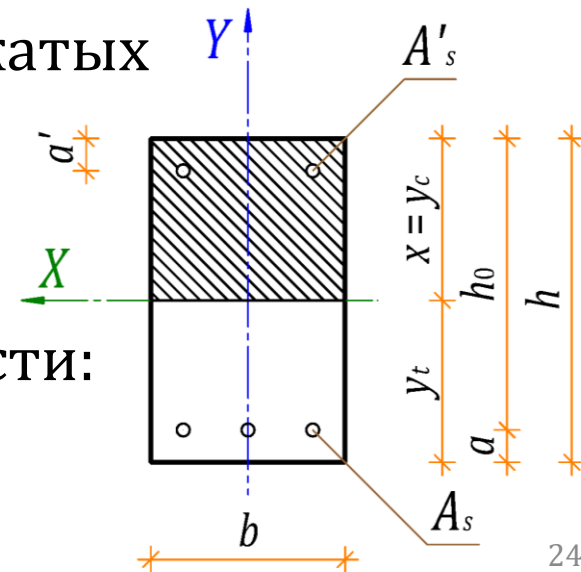
Момент инерции приведенного поперечного сечения элемента с трещиной определяется по формуле:

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

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:

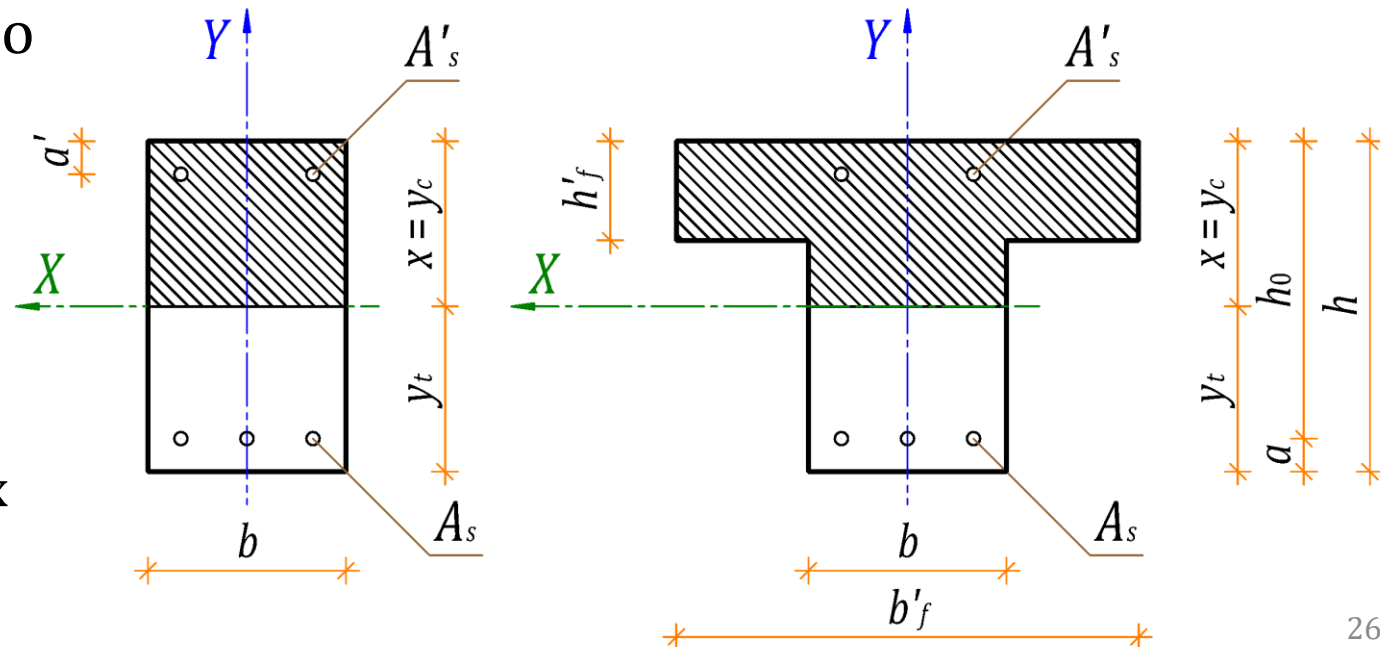
$$I_{x,b} = \frac{bx^3}{12} + \frac{bx^3}{4} = \frac{bx^3}{3} \quad \text{и} \quad I_{x,b} = \frac{bx^3}{3} + \frac{(b'_f - b)h_f'^3}{12} + (b'_f - b)h'_f \left(x - \frac{h'_f}{2}\right)^2$$

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:

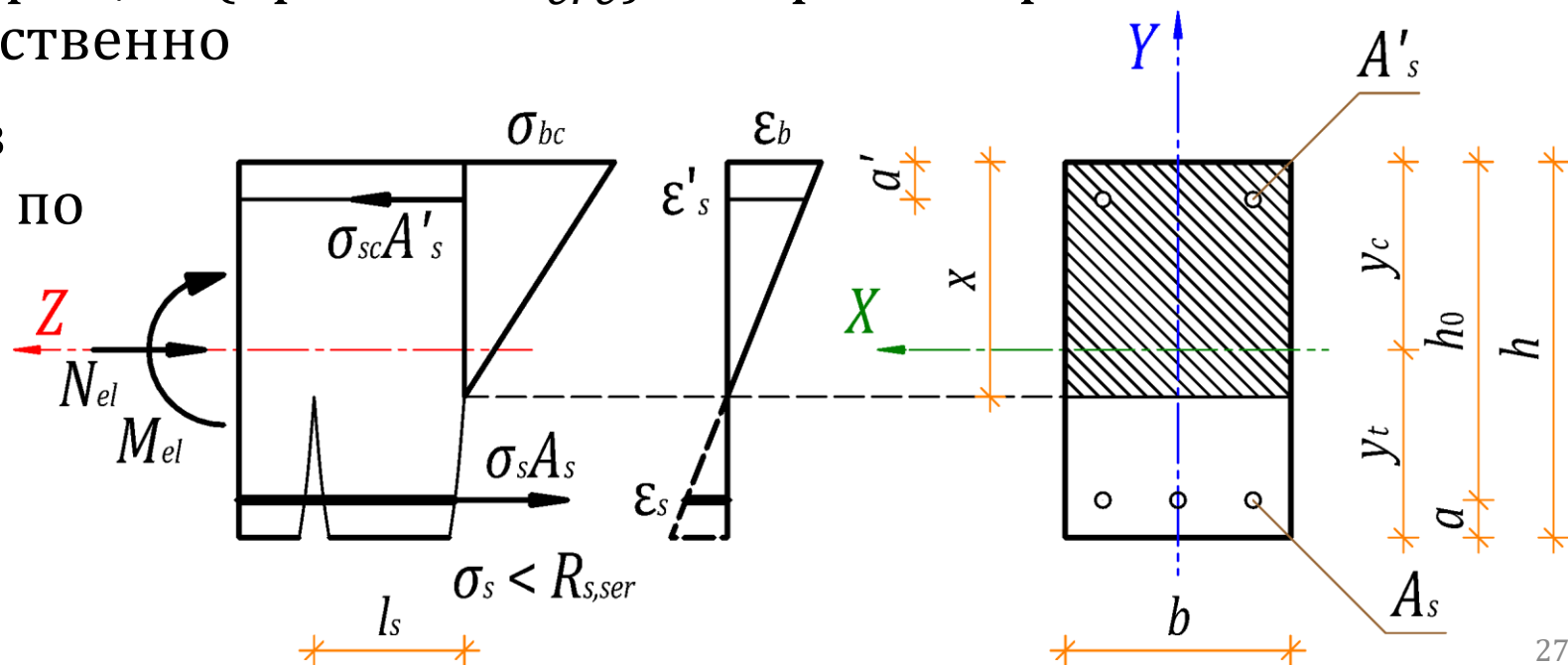
$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} \leq 1 \quad \text{и} \quad \psi_{s,l} = 1 - 0,8 \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_{s,l}} \leq 1$$

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:

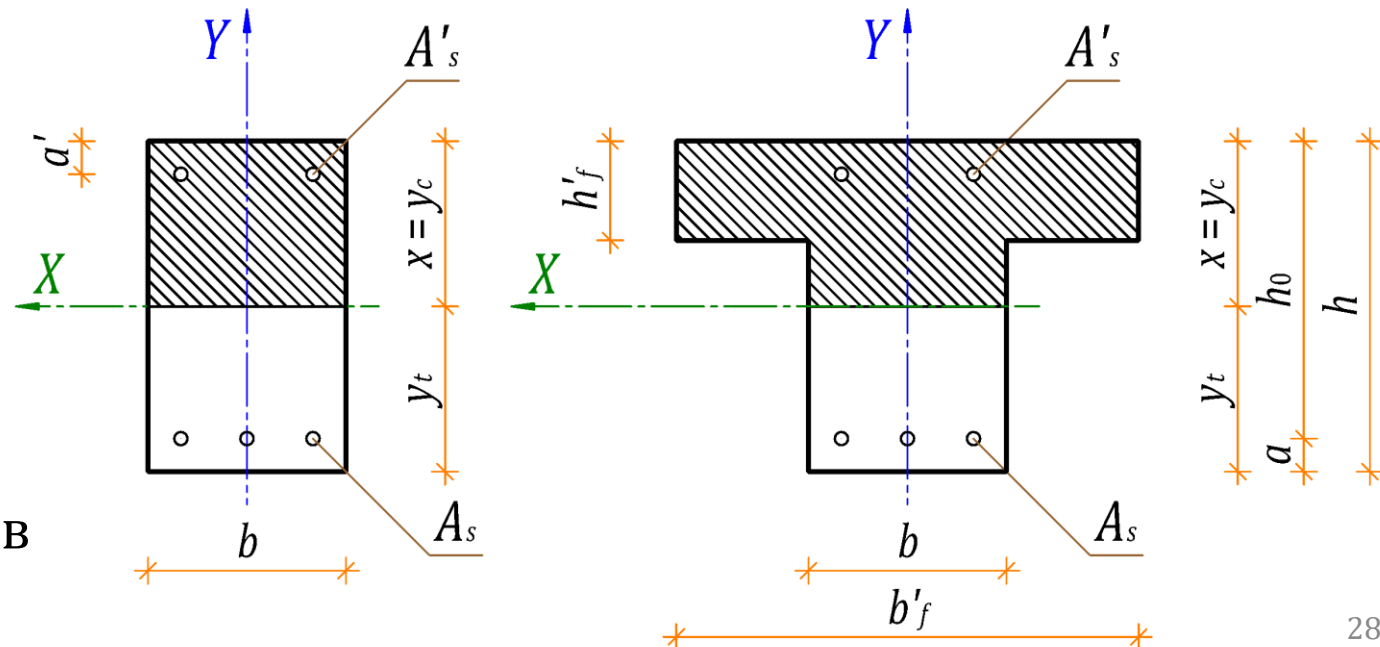
$$\alpha_{s1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} - \text{для сжатой} \quad \text{и} \quad \alpha_{s2} = \frac{E_{s,red}}{E_{b,red}} - \text{для растянутой}$$

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



Расстояние l_s (п. 8.2.17 СП 63)

Между нормальными трещинами определяется по формуле:

$$l_s = 0,5 \frac{A_{bt}}{A_s} d_s$$

где A_{bt} – площадь сечения растянутого бетона перед образованием нормальных трещин (при $M = M_{crc}$):

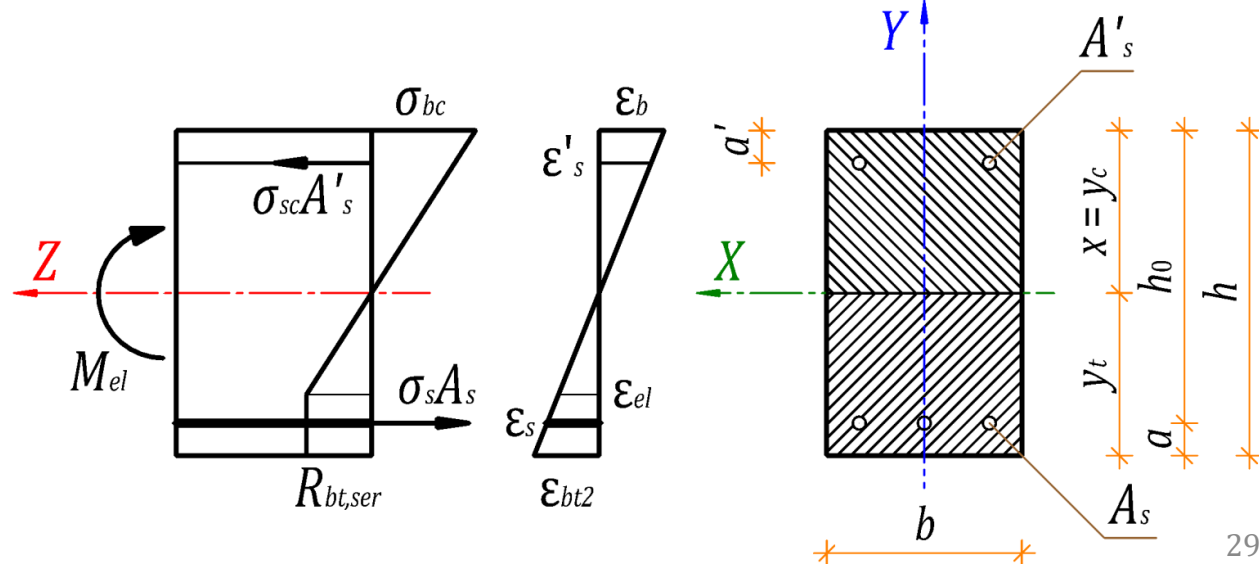
$$2ab \leq A_{bt} = by_t \leq bh/2$$

A_s и d_s – площадь сечения и номинальный диаметр растянутой арматуры

Расстояние между нормальными трещинами l_s ограничено следующими условиями:

$$10d_s \leq l_s \leq 40d_s$$

$$10 \text{ см} \leq l_s \leq 40 \text{ см}$$



Пример 2. Расчет балки по раскрытию трещин

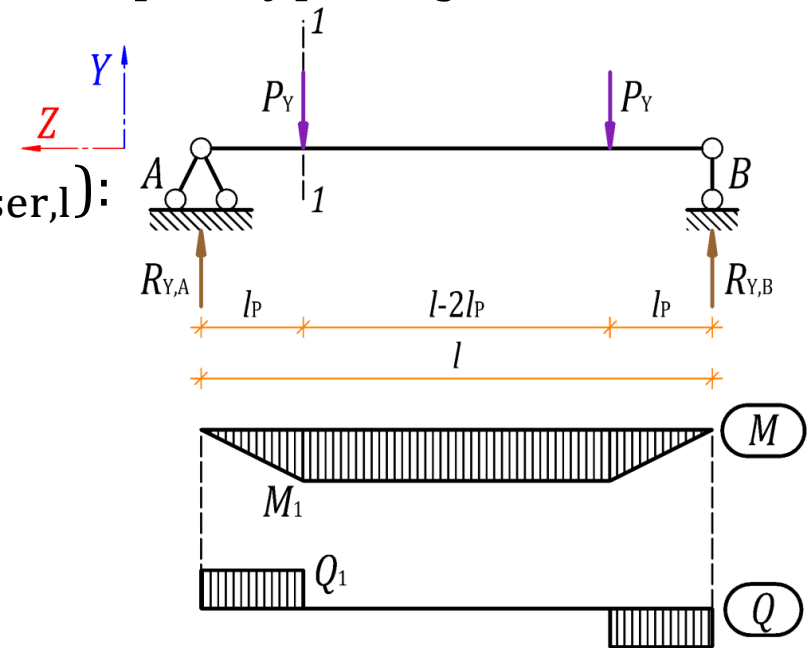
Дано: монолитная железобетонная балка из Примера 1, сечением $b \times h - 300 \times 500$ мм пролетом $l = 3,0$ м, $a = a' = 50$ мм, бетон класса В25 ($E_b = 30000$ МПа, $R_{b,ser} = 18,5$ МПа, $R_{bt,ser} = 1,55$ МПа), арматура класса А500 ($E_s = 200000$ МПа, $R_s = 435$ МПа, $R_{sc} = 400(435)$ МПа), 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.