

**ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр**

# **Железобетонные и каменные конструкции**

## **Практическое занятие №4**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

www: [mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/](http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/)

e-mail: [gbk@mgsu.ru](mailto:gbk@mgsu.ru); [PekinDA@mgsu.ru](mailto:PekinDA@mgsu.ru)

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

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

# Практическое занятие №4 – краткий обзор:

Расчет железобетонных конструкций по I предельному состоянию:

- Общие положения
- Внецентренно сжатые элементы по нормальным сечениям
- Изгибаемые элементы прямоугольного сечения по нормальным сечениям
- Изгибаемые элементы таврового (с полкой в сжатой зоне) или двутаврового сечения по нормальным сечениям
- Местное сжатие элементов

# Общие положения расчета ЖБК по прочности

Выполняется комплекс расчетов на действие изгибающих моментов, продольных сил, поперечных сил, крутящих моментов и на местное действие нагрузки (местное сжатие, продавливание)

- Расчет при действии изгибающих моментов и продольных сил (внецентренное сжатие или растяжение) следует производить для сечений, нормальных к их продольной оси на основе нелинейной деформационной модели согласно п. 8.1.20-8.1.30 СП 63 или допускается для простых поперечных сечений (прямоугольник, тавр, двутавр) по предельным усилиям
- Расчет при действии поперечных сил (и изгибающего момента) производят на основе модели наклонных сечений
- Расчет при действии крутящего момента (и изгибающего момента или поперечной силы) производят на основе модели пространственных сечений

# Расчет ЖБК по НДМ (п. 5.2.8 СП 63)

Нелинейной деформационной модели производят на основе диаграмм состояния ( $\sigma$ - $\varepsilon$ ) 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
- Сопротивление бетона растянутой зоны допускается не учитывать за исключением отдельных случаев (например, для ЖБК, в которых не допускается образование трещин)
- Критерием прочности нормальных сечений является достижение предельных относительных деформаций в бетоне или арматуре

При расчете внецентренно сжатых железобетонных элементов по недеформированной схеме следует учитывать случайный эксцентриситет и влияние продольного изгиба

# Расчет ЖБК по предельным усилиям (п. 5.2.7 СП 63)

Выполняется в опасных нормальных сечениях на основе определения предельных усилий, воспринимаемых бетоном и арматурой, с учетом следующих положений:

- Сопротивление бетона **растяжению** не учитывается
- Напряжения в **сжатой** зоне бетона равны расчетному сопротивлению бетона сжатию  $R_b$  и равномерно распределены по сжатой зоне бетона
- Растягивающие и сжимающие напряжения в арматуре принимаются не более расчетного сопротивления арматуры растяжению  $R_s$  и сжатию  $R_{sc}$
- Предельные усилия, воспринимаемые сжатым бетоном и арматурой, равны предельным усилиям в растянутой арматуре

При расчете внецентренно сжатых железобетонных элементов следует учитывать случайный эксцентриситет и влияние продольного изгиба

# Ограничение высоты сжатой зоны (п. 8.1.6 СП 63)

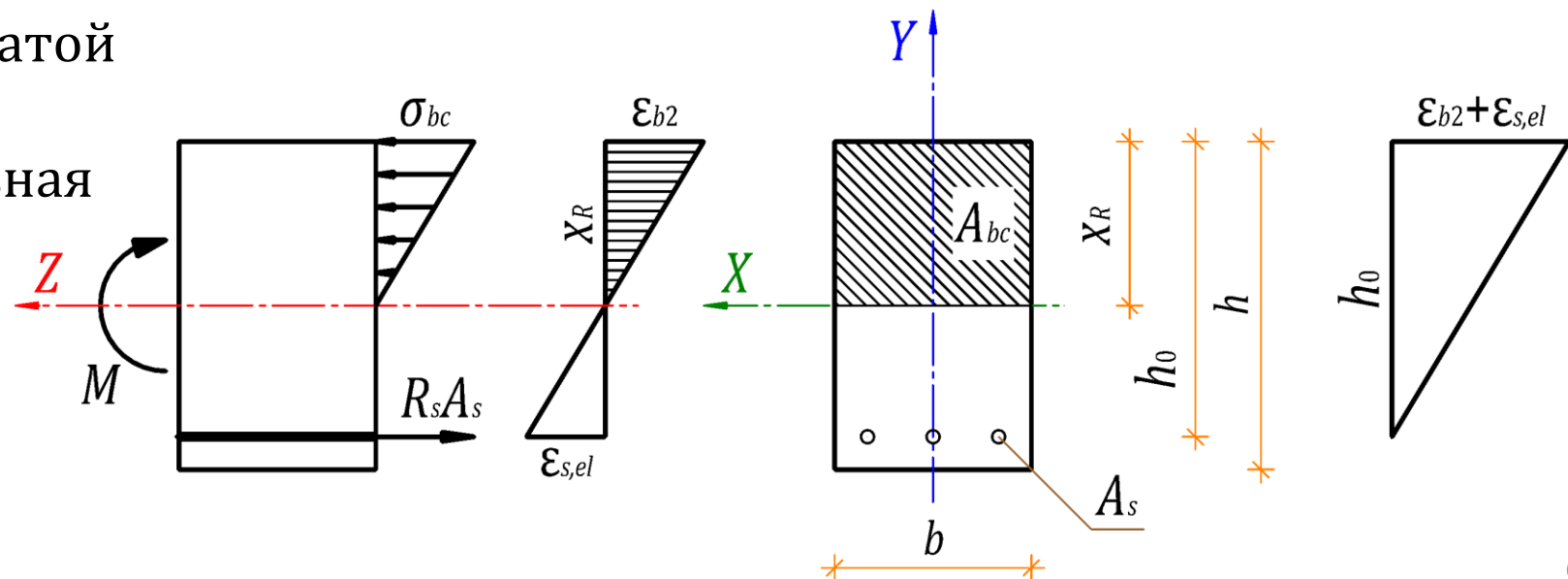
Высоту сжатой зоны бетона необходимо ограничить из соображений его предельной сжимаемости:

$$\frac{x_R}{0,8\varepsilon_{b2}} = \frac{h_0}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}} \rightarrow \xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0,8\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}}$$

где  $\xi_R$  – граничная относительная высота сжатой зоны бетона

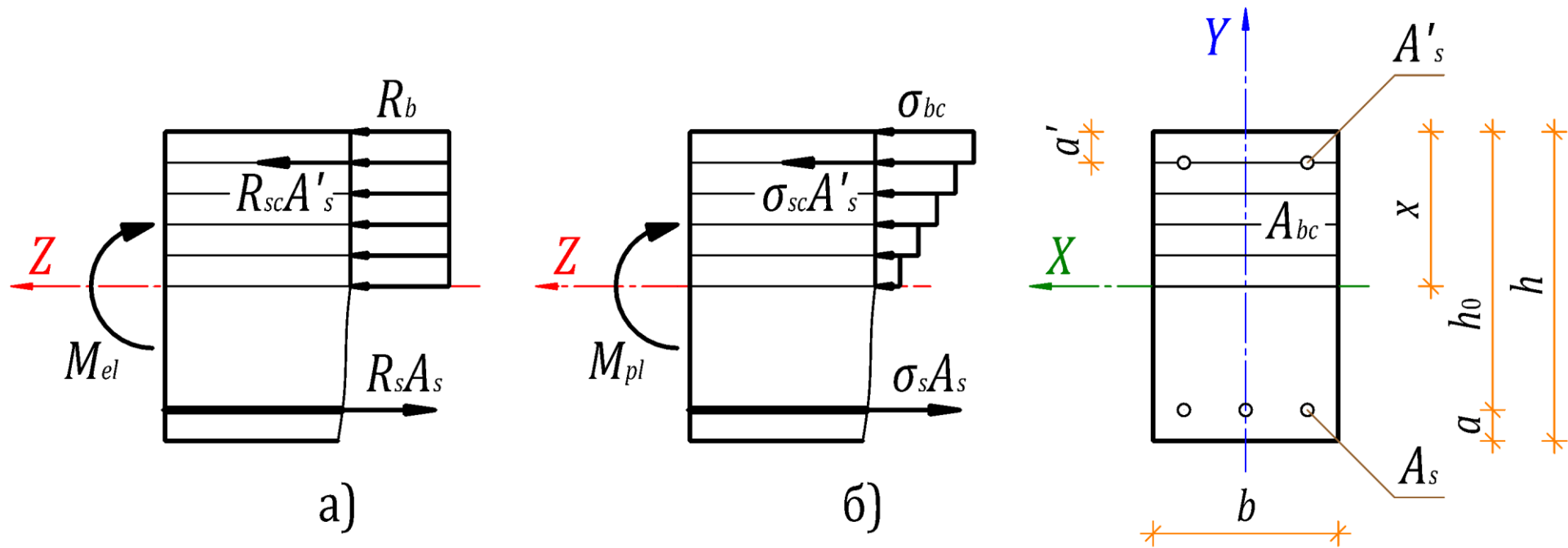
$\varepsilon_{b2} = 0,0035$  – относительная деформация бетона при непродолжительном действии нагрузки

$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s}$  – относительная деформация стали



# Эпюры нормальных напряжений в сечении:

- а) – эпюра, принимаемая для расчетов ЖБК по предельным усилиям после выполнения линейных расчетов
- б) – эпюра, принимаемая для расчетов ЖБК на основе нелинейной деформационной модели



# Расчет внецентренно сжатых ЖБЭ (п. 8.1.14 СП 63)

Прямоугольного сечения выполняется по формуле:

$$Ne \leq M_{ult} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

где  $N$  – продольная сила от внешней нагрузки;

$$e = e_0 \eta + \frac{h_0 - a'}{2},$$

в статически неопределимых системах:

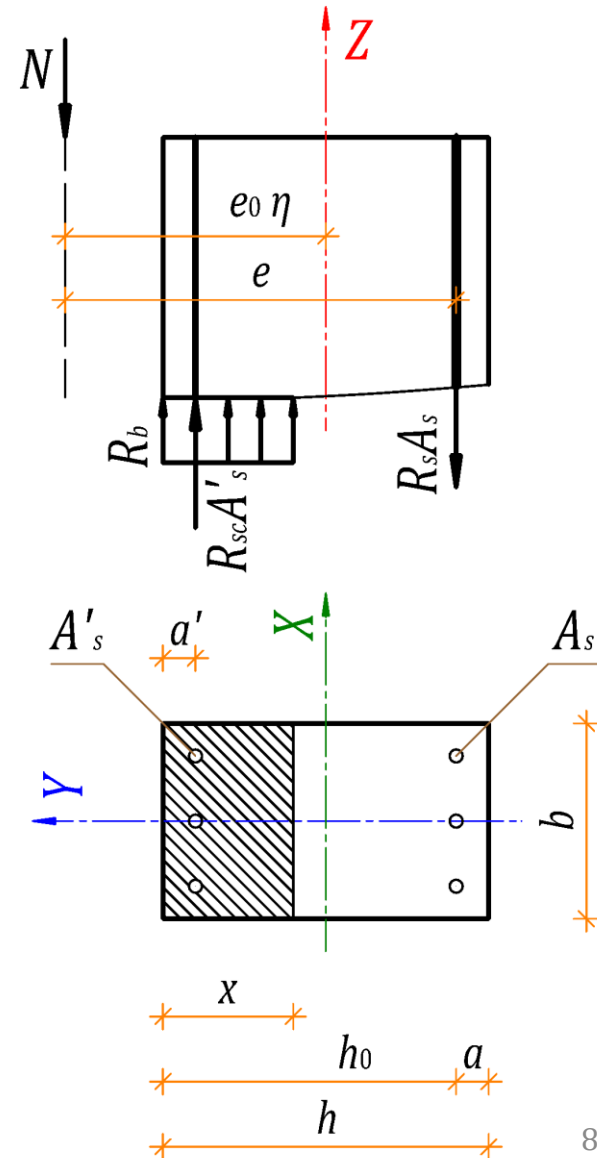
$e_0 = M/N$  – эксцентриситет силы  $N$ ;

$e_0 \geq e_a$  – случайный эксцентриситет не менее:

$1/600l$  или  $1/30h$  или 10 мм

в статически определимых системах:

$$e_0 = M/N + e_{a,max}$$





# Высота сжатой зоны бетона (п. 8.1.14 СП 63)

Прямоугольного сечения определяется по формуле:

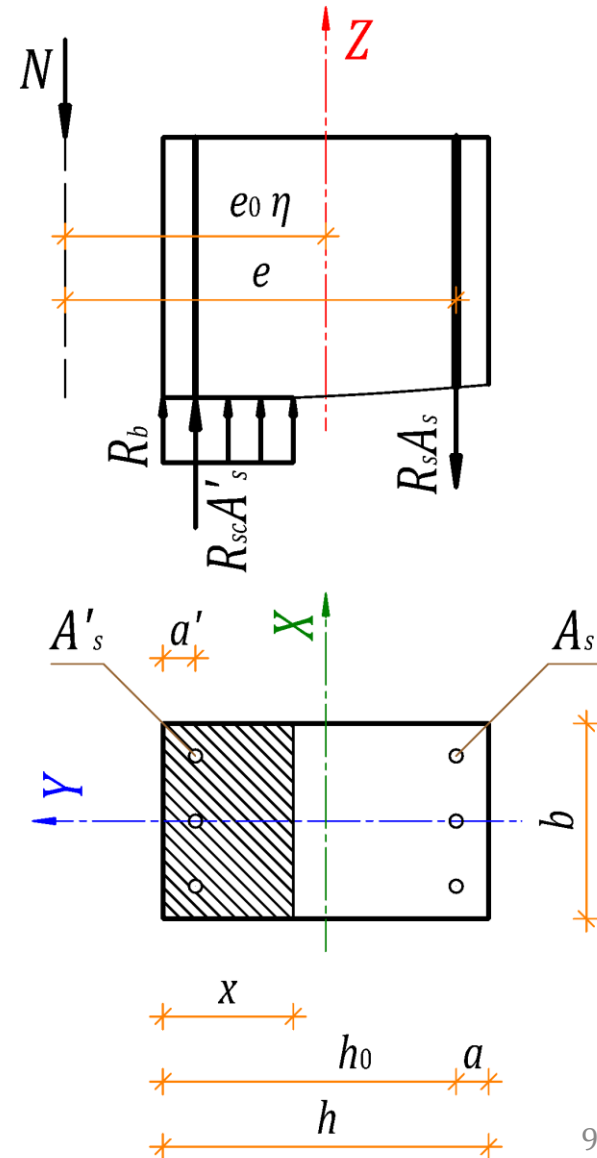
$$x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b},$$

в случае  $\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_R$  высота определяется по формуле:

$$x = \frac{N + R_s A_s \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{sc} A'_s}{R_b b + \frac{2R_s A_s}{h_0(1 - \xi_R)}}$$

Коэффициент, учитывающий влияние прогиба -  $\eta > 1$ :

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$



# Влияние прогиба (п. 8.1.15 СП 63)

$N_{cr}$  – критическая сила (по Эйлеру):

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2} = \frac{\pi^2 (k_b E_b I + k_s E_s I_s)}{l_0^2} > N,$$

где  $I = \frac{bh^3}{12}$  – момент инерции бетона;

$I_s = A_s (h/2 - a)^2 + A'_s (h/2 - a')^2$  – момент инерции арматуры;

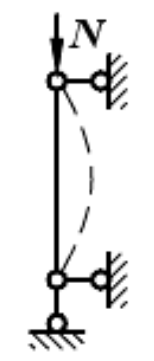


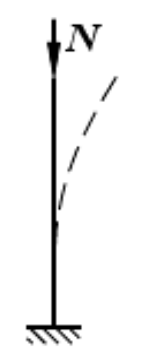
$E_b$  и  $E_s$  – модуль упругости бетона и арматуры соответственно;

$l_0 = \mu l$  – расчетная длина элемента,  $\mu$  – коэффициент расчетной длины;

$$k_s = 0,7 \text{ и } k_b = \frac{0,15}{\varphi_l (0,3 + \delta_e)}, \quad \text{где } \varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + \frac{N_l (e_l + h/2 - a)}{N (e_0 + h/2 - a)} < 2;$$

$\delta_e = \frac{e_0}{h}$  – относительный эксцентриситет  $0,15 \leq \delta_e \leq 1,5$ ;

$D$  – жесткость железобетонного элемента в предельной по прочности стадии

Схема закрепления элемента				
$\mu$	1,0	0,7	0,5	2,0

# Коэффициент расчетной длины $\mu$ (п. 8.1.17 СП 63)

Схема закрепления элемента	$\mu$
<b>а)</b> для элементов с шарнирным опиранием на двух концах	1,0
<b>б)</b> для элементов с жесткой заделкой (исключающей поворот опорного сечения) на одном конце и незакрепленным другим концом (консоль)	2,0
<b>в)</b> для элементов с шарнирным несмещаемым опиранием на одном конце, а на другом конце:	
- с жесткой (без поворота) заделкой	0,7
- с податливой (допускающей ограниченный поворот) заделкой	0,9
<b>г)</b> для элементов с податливым шарнирным опиранием (допускающим ограниченное смещение опоры) на одном конце, а на другом конце:	
- с жесткой (без поворота) заделкой	1,5
- с податливой (с ограниченным поворотом) заделкой	2,0
<b>д)</b> для элементов с несмещаемыми заделками на двух концах:	
- жесткими (без поворота)	0,5
- податливыми (с ограниченным поворотом)	0,8
<b>е)</b> для элементов с ограниченно смещаемыми заделками на двух концах:	
- жесткими (без поворота)	0,8
- податливыми (с ограниченным поворотом)	1,2

# Пример 1. Внецентренно сжатая железобетонная колонна

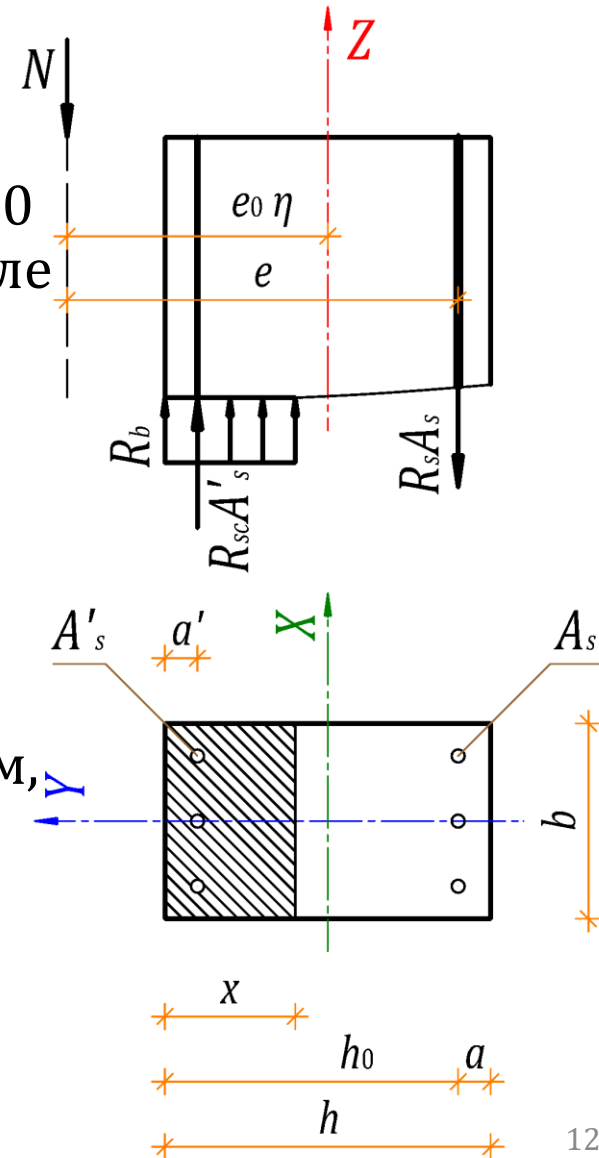
Дано: монолитная железобетонная колонна сечением  $b \times h$  –  $300 \times 500$  мм высотой  $l = 3,0$  м,  $a = a' = 50$  мм, бетон класса В15 ( $E_b = 24000$  МПа,  $R_b = 8,5$  МПа), арматура класса А400 ( $E_s = 200000$  МПа,  $R_s = R_{sc} = 340$  МПа), полная нагрузка  $N = 1100$  кН, в том числе постоянная и длительная нагрузка  $N_l = 880$  кН, эксцентриситет  $e_{0y} = e_l = 100$  мм, шарнирные узлы сопряжения – коэффициент расчетной длины  $\mu = 1$ , симметричное армирование, момент инерции бетона относительно оси  $X$  –  $I_x = 3125 \cdot 10^{-6}$  м<sup>4</sup>

Определяем случайный эксцентриситет  $e_a$ :

$$e_a = \frac{l}{600} = \frac{3000}{600} = 5 \text{ мм или } e_a = \frac{h}{30} = \frac{500}{30} = 17 \text{ мм или } e_a = 10 \text{ мм,}$$

сравниваем его с заданным по условиям задачи –  $e_a \leq e_0 = 100$  мм

Зададимся площадью продольной арматуры –  $A_s = A'_s = 1140$  мм<sup>2</sup> (по 3 стержня  $\varnothing 22$  мм у каждой грани)



# Пример 1. Определение критической силы $N_{cr}$

Определяем коэффициент влияния длительности действия нагрузки  $\varphi_l$  и относительный эксцентриситет  $\delta_e$ :

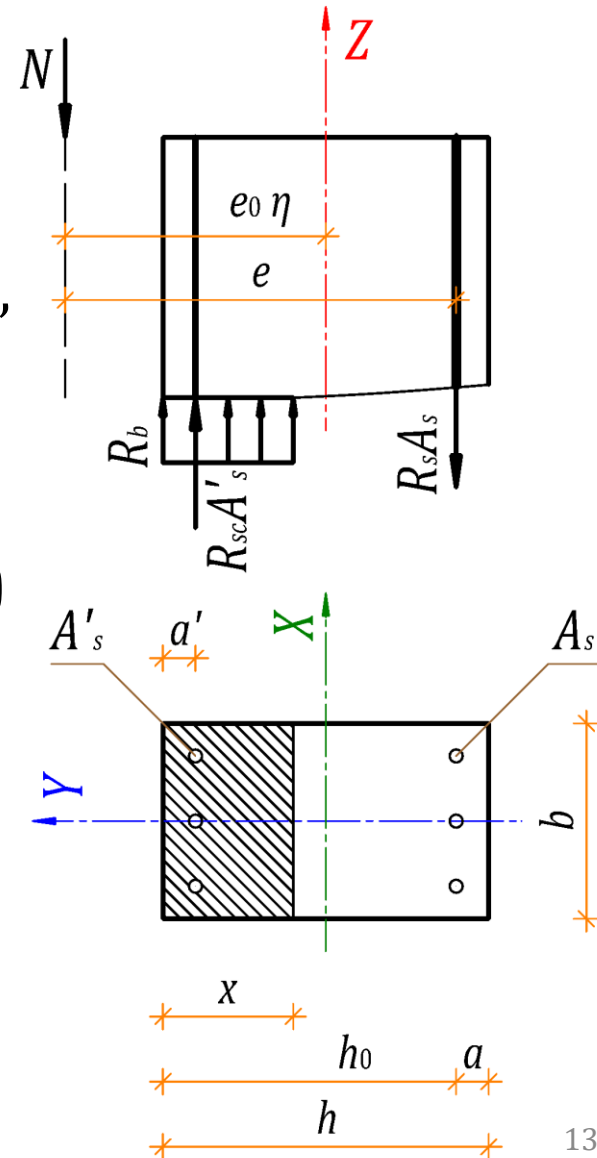
$$\varphi_l = 1 + \frac{N_l(e_l + h/2 - a)}{N(e_0 + h/2 - a)} = 1 + \frac{1600(100 + 500/2 - 50)}{2000(100 + 500/2 - 50)} = 1,8 < 2,$$

$$\delta_e = \frac{e_0}{h} = \frac{100}{500} = 0,2 \quad (0,15 \leq \delta_e \leq 1,5)$$

для нахождения коэффициента  $k_b$  (снижения изгибной жесткости) и изгибной жесткости в предельной стадии  $D$ :

$$k_s = 0,7 \quad \text{и} \quad k_b = \frac{0,15}{\varphi_l(0,3 + \delta_e)} = \frac{0,15}{1,8(0,3 + 0,2)} = 0,17$$

$$D = k_b E_b I + k_s E_s I_s = 0,17 \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot 3125 \cdot 10^{-6} + \\ + 0,7 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 91 \cdot 10^{-6} = 25490 \text{ кНм}^2$$



# Пример 1. Определение высоты сжатой зоны бетона $x$

Определяем критическую силу в предельной стадии  $N_{cr}$ :

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2} = \frac{3,14^2 \cdot 25490}{3,0^2} = 27925 \text{ кН}$$

Определяем коэффициент влияния прогиба  $\eta$ , эксцентриситет  $e$  и высоту сжатой зоны бетона  $x$ :

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{1100}{27925}} = 1,05 \quad \text{и} \quad e = e_0 \eta + \frac{h_0 - a'}{2} = 0,1 \cdot 1,05 + \frac{0,45 - 0,05}{2} = 0,305 \text{ м}$$

$$x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{1100 + (340 \cdot 1140 - 340 \cdot 1140) \cdot 10^{-3}}{8,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,43 \text{ м}$$

Сравниваем относительную высоту сжатой зоны с предельной:

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0,43}{0,5} = \mathbf{0,86} > \xi_R = \frac{0,8 \varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}} = \frac{0,8 \cdot 0,0035}{0,0035 + 0,0017} = \mathbf{0,54}$$

# Пример 1. Уточнение высоты сжатой зоны бетона $x$

В связи  $\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_R$  по формуле:

$$x = \frac{N + R_s A_s \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{sc} A'_s}{R_b b + \frac{2R_s A_s}{h_0(1 - \xi_R)}} = \frac{1100 + (340 \cdot 1140 \cdot \frac{1,54}{0,46} - 340 \cdot 1140) \cdot 10^{-3}}{8,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 + \frac{2 \cdot 340 \cdot 1140 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 0,46}} = 0,32 \text{ м}$$

Определяем предельный изгибающий момент сечения  $M_{ult}$ :

$$\begin{aligned} M_{ult} &= R_b b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') = \\ &= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,32 \cdot \left( 0,45 - \frac{0,32}{2} \right) + 340 \cdot 1140 \cdot (0,45 - 0,05) \cdot 10^{-3} = 346,8 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Проверяем прочность колонны при внецентренном сжатии:

$$Ne = 1100 \cdot 0,305 = 335,5 \text{ кНм} > M_{ult} \gamma_{b3} = 346,8 \cdot 0,85 = 294,8 \text{ кНм}$$

# Пример 1. Результаты расчета на основе НДМ

АРБАТ (64-бит) - Сопротивление ж/б сечений

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Общие параметры Армирование Бетон Усилия Трещиностойкость Кривые взаимодействия

Конструктивное решение

Длина элемента: 3 м

Коэффициент расчетной длины в плоскости XoZ: 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости XoY: 1

Случайный эксцентриситет по Z: 0 мм

Случайный эксцентриситет по Y: 0 мм

Предельная гибкость: 120

Кoeffициенты надежности по ответственности: 1

Кoeffициенты надежности по нагрузке: 1

Кoeffициенты надежности по длительной части: 0,8

Варианты расчета

Расчет по трещиностойкости

Статическая неопределимость

Огнестойкость

Арматура	Класс
Продольная	A400
Поперечная	A240

b	h	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
мм	мм	мм	мм
300	500	50	50

Защитный слой

2018

Вычислить Отчет Справка

Диagramma факторов [СП 63.13330.2018]

Проверка	Кoeffициент	Загрузка
Прочность по предельной продольной силе сечения	0,584	1
Прочность по предельному моменту сечения	0,944	1
Деформации в сжатом бетоне	пп. 8.1.20-8.1.30 0,687	1
Деформации в растянутой арматуре	пп. 8.1.20-8.1.30 3,695e-004	1
Продольная сила при учете прогиба при гибкости L0/i>14	пп. 8.1.15, 7.1.11 0,15	1
Предельная гибкость в плоскости XoY	п. 10.2.2 0,289	1
Предельная гибкость в плоскости XoZ	п. 10.2.2 0,173	1

OK



# Допускается расчет (п. 8.1.16 СП 63)

Прямоугольных сечений на внецентренное сжатие при  $e_0 \leq h/30$  и  $l_0 \leq 20h$  выполнять по формуле:

$$N \leq \varphi(R_b A + R_{sc} A_{s,tot}),$$

где  $N$  – действующая продольная сила;

$A = bh$  – площадь поперечного сечения;

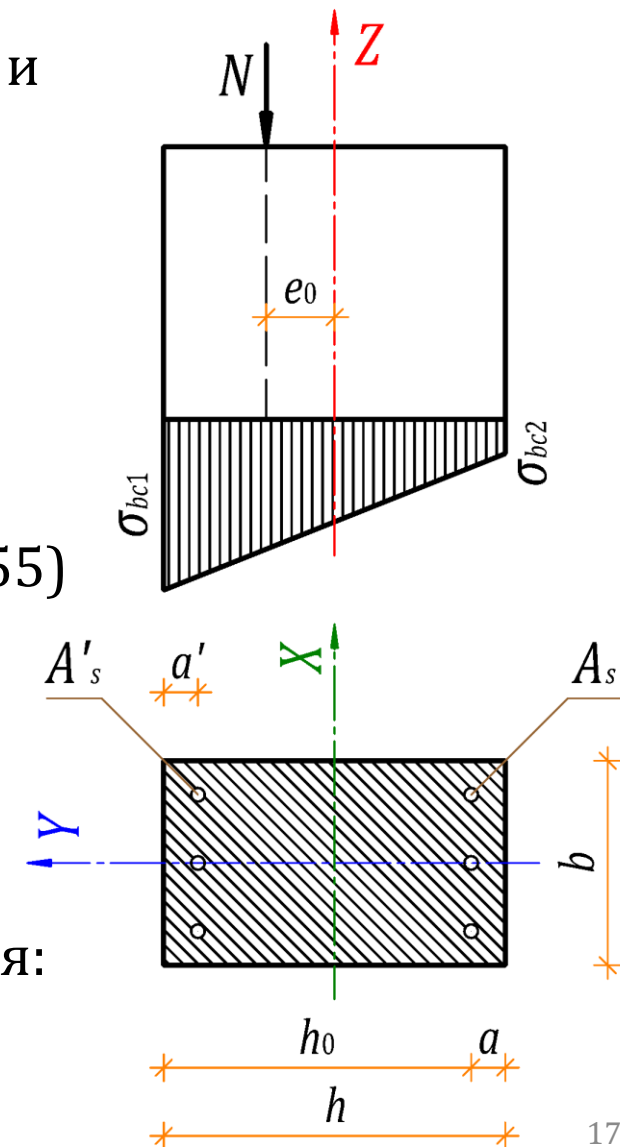
$A_{s,tot} = A_s + A'_s$  – площадь всей продольной арматуры;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба (для бетонов класса В20-В55) при длительном действии нагрузки по таблице:

$l_0/h$	6	10	15	20
$\varphi_l$	0,92	0,9	0,83	0,7

и при кратковременном действии по линейному закону, принимая:

$\varphi = 0,9$  при  $l_0/h = 10$  и  $\varphi = 0,85$  при  $l_0/h = 20$



# Расчет изгибаемых ЖБЭ (п. 8.1.8, 8.1.9 СП 63)

Прямоугольного сечения при  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$  по нормальным сечениям выполняется по формулам:

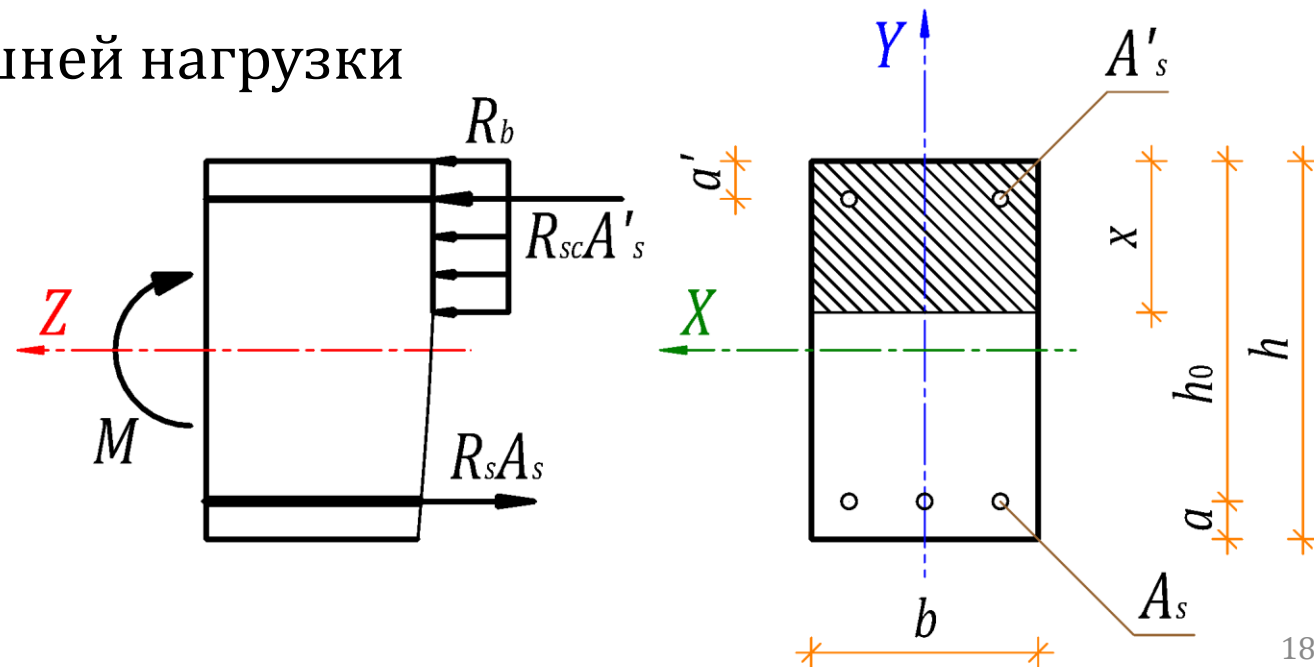
$$M \leq M_{ult,c} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

$$M \leq M_{ult,t} = R_s A_s (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (x/2 - a')$$

где  $M$  – изгибающий момент от внешней нагрузки

Высота сжатой зоны бетона определяется по формуле:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b}$$



## Пример 2. Железобетонная балка по нормальным сечениям

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,  $R_{bt} = 1,05$  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

Определим внутренние усилия  $M_1$  и  $Q_1$  методом сечений:

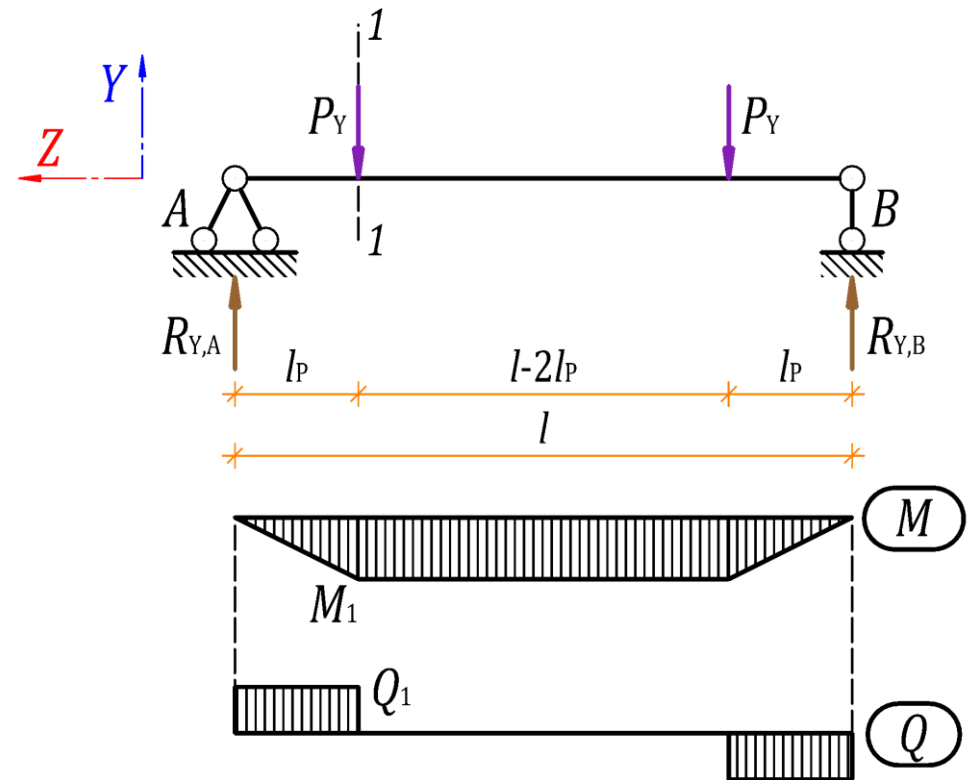
$$M_1 = R_{Y,A} l_P = 200 \cdot 1 = 200 \text{ кНм}$$

$$Q_1 = R_{Y,A} = P_Y = 200 \text{ кН}$$

Зададимся площадью продольной арматуры:

$$A_s = 1140 \text{ мм}^2 \text{ (3 стержня } \varnothing 22 \text{ мм у нижней грани)}$$

$$A'_s = 226 \text{ мм}^2 \text{ (2 стержня } \varnothing 12 \text{ мм у верхней грани)}$$



## Пример 2. Высота сжатой зоны бетона $x$ и условия прочности

Определяем высоту сжатой зоны бетона  $x$ :

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{(435 \cdot 1140 - 400 \cdot 226) \cdot 10^{-3}}{14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,093 \text{ м}$$

Сравниваем относительную высоту сжатой зоны с предельной:

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0,093}{0,5} = 0,19 < \xi_R = \frac{0,8 \varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}} = \frac{0,8 \cdot 0,0035}{0,0035 + 0,0022} = 0,49$$

Проверяем выполнение условий прочности:

$$\begin{aligned} M &= \mathbf{200} \text{ кНм} \leq M_{ult,c} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') = \\ &= 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,093 \cdot (0,45 - 0,093/2) + 400 \cdot 226 \cdot 10^{-3} \cdot (0,45 - 0,05) = \mathbf{199,4} \text{ кНм} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= \mathbf{200} \text{ кНм} \leq M_{ult,t} = R_s A_s (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (x/2 - a') = \\ &= 435 \cdot 1140 \cdot 10^{-3} \cdot (0,45 - 0,093/2) + 400 \cdot 226 \cdot 10^{-3} \cdot (0,093/2 - 0,05) = \mathbf{199,8} \text{ кНм} \end{aligned}$$

# Пример 2. Результаты расчета на основе НДМ

АРБАТ (64-бит) - Сопротивление ж/б сечений

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Общие параметры Армирование Бетон Усилия Трещиностойкость Кривые взаимодействия

Конструктивное решение

Длина элемента  м

Коэффициент расчетной длины в плоскости  $XoZ$

Коэффициент расчетной длины в плоскости  $XoY$

Случайный эксцентриситет по Z  мм

Случайный эксцентриситет по Y  мм

Предельная гибкость

Огнестойкость

Коэффициенты надежности по ответственности

надежности по нагрузке

длительной части

Варианты расчета

Расчет по трещиностойкости

Статическая неопределимость

Арматура	Класс
Продольная	A500
Поперечная	A500

b	h	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
мм	мм	мм	мм
300	500	50	50

Защитный слой

2018

Вычислить

Отчет

Справка

Диаграмма факторов [СП 63.13330.2018]

Проверка		Коэффициент		Загружение
Прочность по предельному моменту сечения		1,035		1
Деформации в сжатом бетоне	пп. 8.1.20-8.1.30	1,132		1
Деформации в растянутой арматуре	пп. 8.1.20-8.1.30	0,422		1
Прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями	пп. 8.1.32, 8.1.34	0,349		1
Прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры	пп. 8.1.33, 8.1.34	2,892		1

OK

# Расчет изгибаемых ЖБЭ (п. 8.1.8, 8.1.10 СП 63)

Таврового (со сжатой полкой) или двутаврового сечений при  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$  по нормальным сечениям выполняется по формуле:

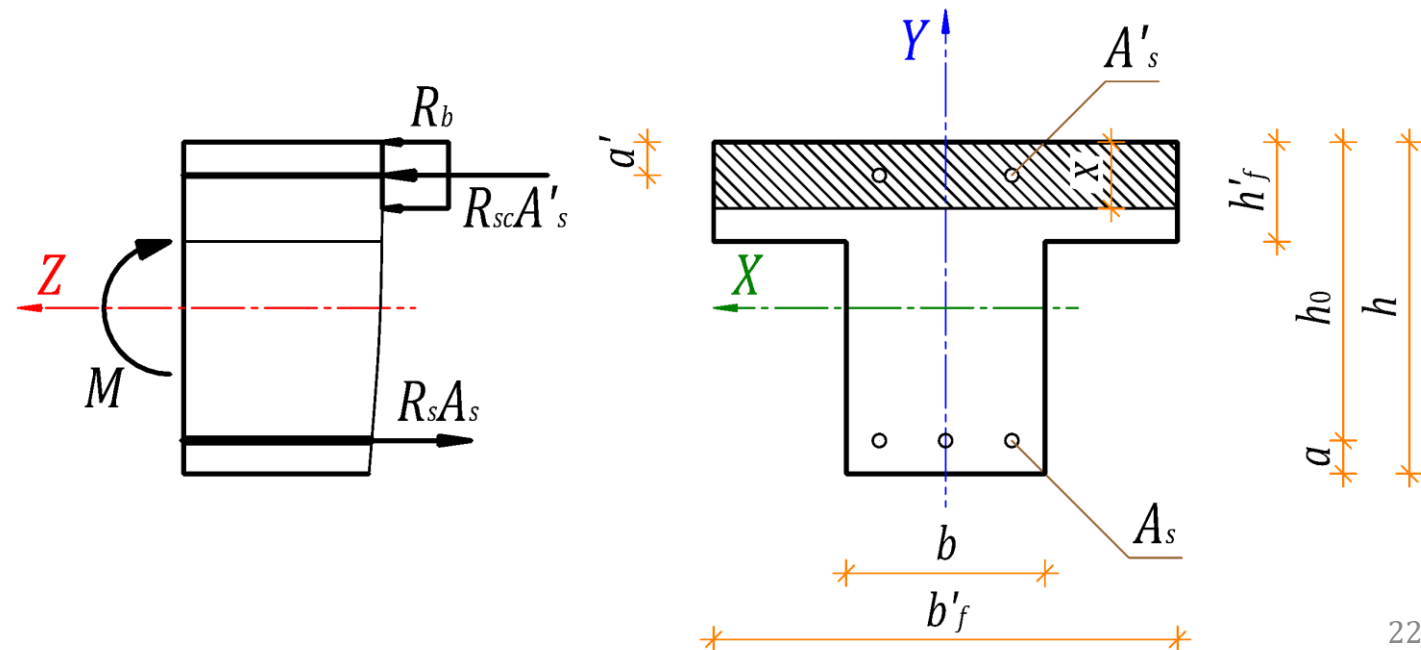
$$M \leq M_{ult} = R_b b'_f x (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

при расположении границы сжатой зоны в полке – при соблюдении условия:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s$$

Высота сжатой зоны бетона определяется по формуле:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b'_f}$$



# Пример 3. Железобетонная балка по нормальным сечениям

Дано: монолитная железобетонная балка из Примера 2 сечением  $b \times h - 300 \times 500$  мм таврового сечения с полкой сечением  $b'_f \times h'_f - 700 \times 100$  мм

Определяем положение границы сжатой зоны (в полке/ребре):

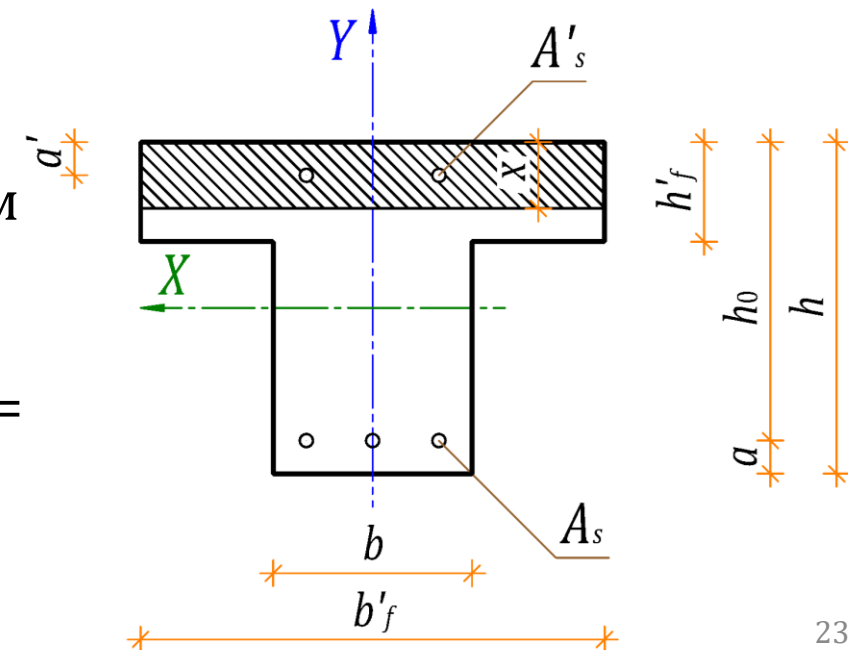
$$R_s A_s = 435 \cdot 1140 \cdot 10^{-3} = \mathbf{495,9} \text{ кН} \leq R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s = \\ = 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot 0,1 + 400 \cdot 226 \cdot 10^{-3} = \mathbf{1105,4} \text{ кН (в полке)}$$

Определяем высоту сжатой зоны бетона  $x$ :

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b'_f} = \frac{(435 \cdot 1140 - 400 \cdot 226) \cdot 10^{-3}}{14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,7} = 0,04 \text{ м}$$

Проверяем выполнение условия прочности:

$$M = \mathbf{200} \text{ кНм} \leq M_{ult} = R_b b'_f x (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') = \\ = 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot 0,04 \cdot (0,45 - 0,04/2) + \\ + 400 \cdot 226 \cdot 10^{-3} \cdot (0,45 - 0,05) = \mathbf{210,7} \text{ кНм}$$



# Пример 3. Результаты расчета на основе НДМ

АРБАТ (64-бит) - Сопротивление ж/б сечений

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Общие параметры Армирование Бетон Усилия Трещиностойкость Кривые взаимодействия

Конструктивное решение

Длина элемента 3 м

Коэффициент расчетной длины в плоскости XoZ 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости XoY 1

Случайный эксцентриситет по Z 0 мм

Случайный эксцентриситет по Y 0 мм

Предельная гибкость 200

Кoeffициенты надежности по ответственности 1

надежности по нагрузке 1

длительной части 0

Варианты расчета

Расчет по трещиностойкости

Статическая неопределенность

Арматура Класс

Продольная A500

Поперечная A500

Огнестойкость

b	h	b <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
мм	мм	мм	мм	мм	мм
300	500	700	100	50	50

Защитный слой

а

Диagramma факторов [СП 63.13330.2018]

Проверка	Кoeffициент	Загрузка
Прочность по предельному моменту сечения	0,974	1
Деформации в сжатом бетоне	пп. 8.1.20-8.1.30 0,379	1
Деформации в растянутой арматуре	пп. 8.1.20-8.1.30 0,17	1
Прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями	пп. 8.1.32, 8.1.34 0,349	1
Прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры	пп. 8.1.33, 8.1.34 2,892	1

Вычислить Факторы

Отчет Справка

2018



# Расчет изгибаемых ЖБЭ (п. 8.1.8, 8.1.10 СП 63)

Таврового (со сжатой полкой) или двутаврового сечений при  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$  по нормальным сечениям выполняется по формуле:

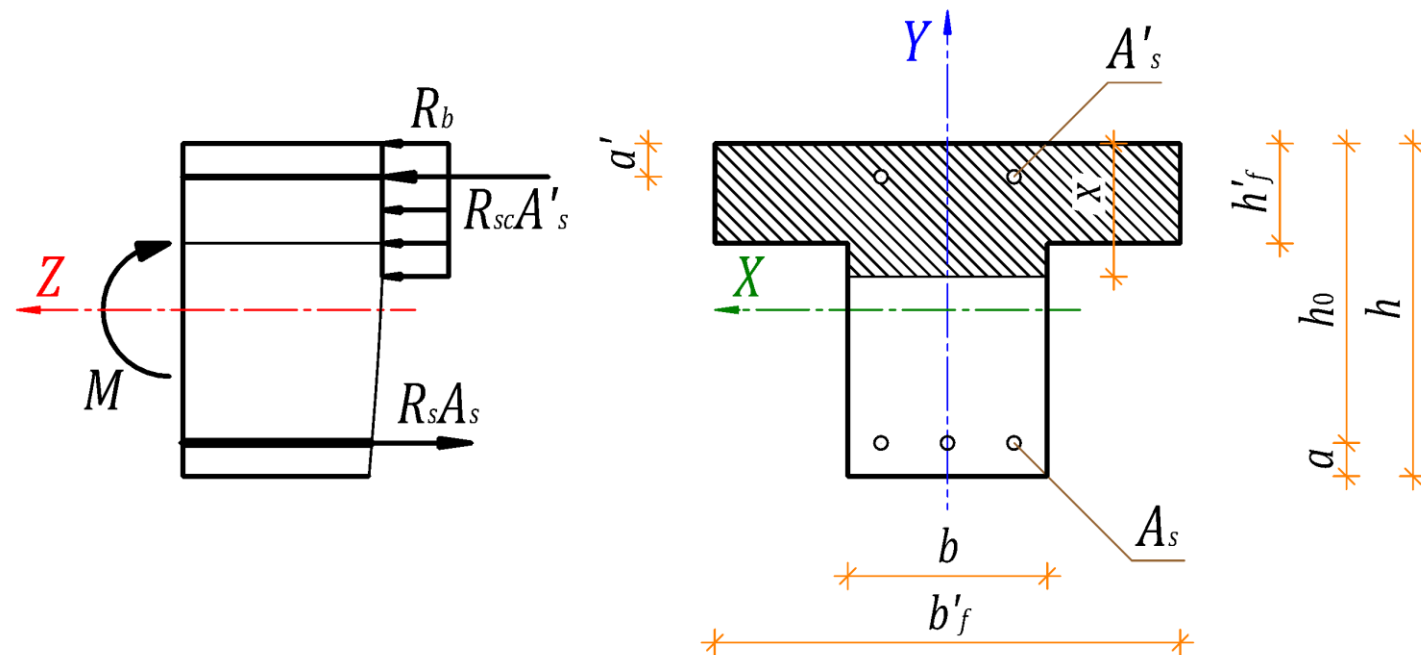
$$M \leq M_{ult} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - h'_f/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

при расположении границы сжатой зоны в ребре – при соблюдении условия:

$$R_s A_s > R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s$$

Высота сжатой зоны бетона определяется по формуле:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b (b'_f - b) h'_f}{R_b b}$$



## Пример 4. Железобетонная балка по нормальным сечениям

Дано: монолитная железобетонная балка из Примера 3,  $A_s = 3054 \text{ мм}^2$  (3 стержня  $\text{Ø}36$  мм у нижней грани),  $A'_s = 628 \text{ мм}^2$  (2 стержня  $\text{Ø}20$  мм у верхней грани),  $P_Y = 400 \text{ кН}$

Определяем положение границы сжатой зоны (в полке/ребре):

$$R_s A_s = 435 \cdot 3054 \cdot 10^{-3} = \mathbf{1328,5 \text{ кН}} > R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s = \\ = 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot 0,1 + 400 \cdot 628 \cdot 10^{-3} = \mathbf{1266,2 \text{ кН}} \text{ (в ребре)}$$

Определяем высоту сжатой зоны бетона  $x$ :

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b (b'_f - b) h'_f}{R_b b} = \frac{(435 \cdot 3054 - 400 \cdot 628) \cdot 10^{-3} - 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,1}{14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,114 \text{ м}$$

Проверяем выполнение условия прочности:

$$M = \mathbf{400 \text{ кНм}} \leq M_{ult} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - h'_f/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') = \\ = 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,114 \cdot (0,45 - 0,114/2) + 14,5 \cdot 10^3 \cdot (0,4) \cdot 0,1 \cdot (0,45 - 0,1/2) + \\ + 400 \cdot 628 \cdot 10^{-3} \cdot (0,45 - 0,05) = \mathbf{527,4 \text{ кНм}}$$

# Пример 4. Результаты расчета на основе НДМ

АРБАТ (64-бит) - Сопротивление ж/б сечений

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Общие параметры Армирование Бетон Усилия Трещиностойкость Кривые взаимодействия

Конструктивное решение

Длина элемента 3 м

Коэффициент расчетной длины в плоскости  $XoZ$  1

Коэффициент расчетной длины в плоскости  $XoY$  1

Случайный эксцентриситет по Z 0 мм

Случайный эксцентриситет по Y 0 мм

Предельная гибкость 200

Кoeffициенты надежности по ответственности 1

надежности по нагрузке 1

длительной части 0

Варианты расчета

Расчет по трещиностойкости

Статическая неопределимость

Арматура Класс

Продольная A500

Поперечная A500

Огнестойкость

b	h	b <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
мм	мм	мм	мм	мм	мм
300	500	700	100	50	50

Защитный слой

а

Вычислить

Отчет

Справка

2018

Диagramma факторов [СП 63.13330.2018]

Проверка		Коэффициент		Загружение
Прочность по предельному моменту сечения		0,798	Green	1
Деформации в сжатом бетоне	пп. 8.1.20-8.1.30	0,45	Green	1
Деформации в растянутой арматуре	пп. 8.1.20-8.1.30	0,07	Green	1
Прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями	пп. 8.1.32, 8.1.34	0,709	Green	1
Прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры	пп. 8.1.33, 8.1.34	5,877	Red	1

OK

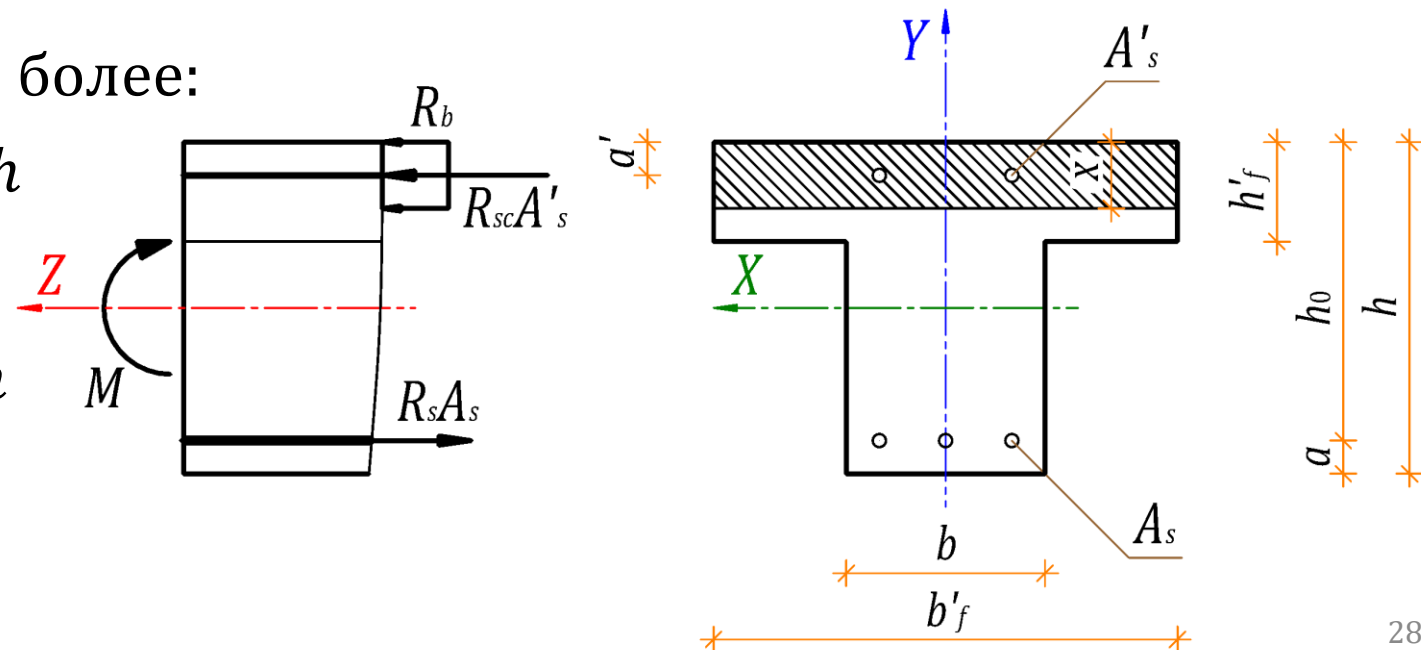
# Ширина свесов полки (п. 8.1.11 СП 63)

В каждую сторону от ребра принимается не более  $1/6$  длины пролета элемента –  $(b'_f - b)/2 \leq l/6$  и не более:

- $1/2$  расстояния в свету между продольными ребрами *при наличии поперечных ребер или при  $h'_f \geq 0,1h$*
- $6h'_f$  *при отсутствии поперечных ребер или при расстояниях между ними больших, чем расстояния между продольными ребрами, и  $h'_f < 0,1h$*

При консольных свесах полки не более:

- $6h'_f$  или  $(b'_f - b)/2$  *при  $h'_f \geq 0,1h$*
- $3h'_f$  *при  $0,05h \leq h'_f < 0,1h$*
- Не учитываются *при  $h'_f < 0,05h$*



# Расчет изгибаемых ЖБЭ (п. 8.1.12, 8.1.13 СП 63)

Прямоугольного и таврового (со сжатой полкой) сечений при  $\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_R$  по нормальным сечениям допускается выполнять по формулам:

$$M \leq M_{ult} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

$$M \leq M_{ult} = R_b b x (h_0 - x/2) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - h'_f/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

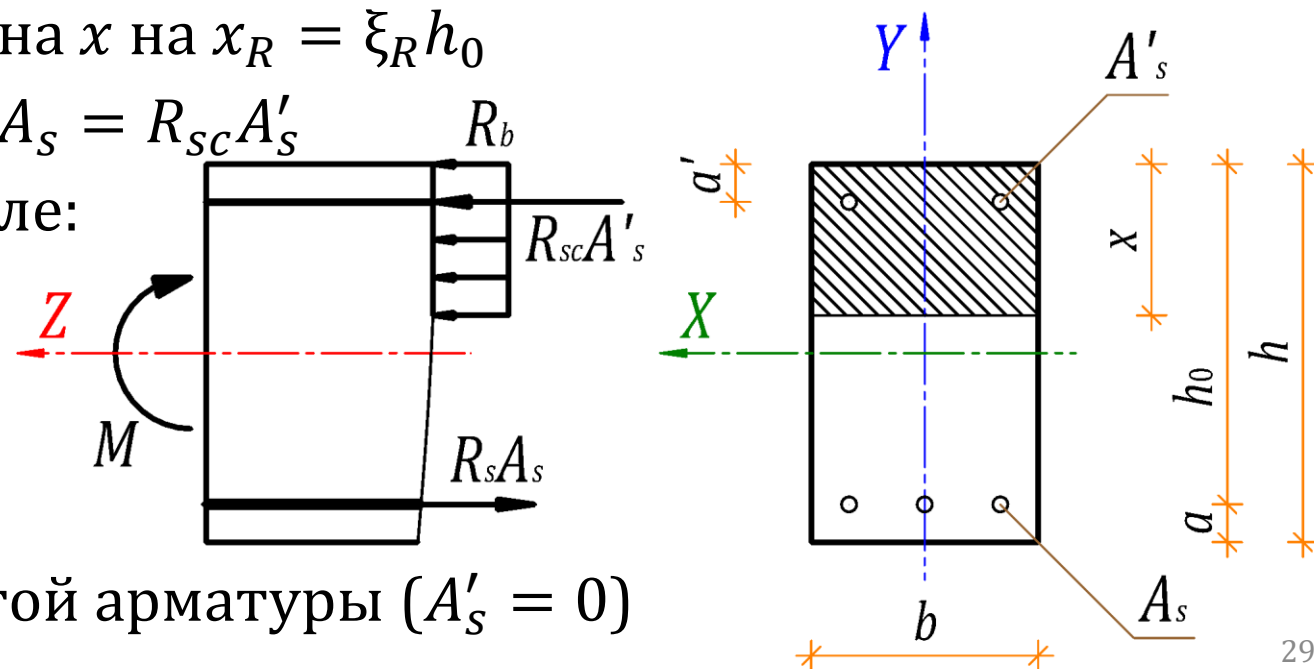
с заменой высоты сжатой зоны бетона  $x$  на  $x_R = \xi_R h_0$

При симметричном армировании  $R_s A_s = R_{sc} A'_s$  значение  $M_{ult}$  определяют по формуле:

$$M_{ult,t} = R_s A_s (h_0 - a') \text{ или}$$

$$M_{ult,t} = R_s A_s (h_0 - x/2), \text{ в случае}$$

$x < 2a'$ , вычисленной без учета сжатой арматуры ( $A'_s = 0$ )



# Расчет ЖБЭ на местное сжатие (п. 8.1.43 СП 63)

- Выполняется при действии сжимающей силы, приложенной на ограниченной площади нормально к поверхности железобетонного элемента. При этом учитывают повышенное сопротивление сжатию бетона в пределах грузовой площади (площади смятия) за счет объемного напряженного состояния бетона в этой области, зависящее от ее расположения на поверхности элемента
- При наличии косвенной арматуры в зоне местного сжатия учитывают дополнительное повышение сопротивления сжатию бетона под грузовой площадью за счет сопротивления косвенной арматуры

# Расчет ЖБЭ на местное сжатие (п. 8.1.44 СП 63)

При отсутствии косвенной арматуры:

$$N \leq \psi R_{b,loc} A_{b,loc}$$

где  $N$  – внешняя сосредоточенная сила

$\psi$  – коэффициент, принимаемый равным 1,0 при равномерном и 0,75 при неравномерном распределении местной нагрузки по площади смятия

$A_{b,loc}$  – площадь приложения сжимающей силы (площадь смятия)

$R_{b,loc} = \varphi_b R_b$  – расчетное сопротивление бетона при местном сжатии,

$$\text{где } 1,0 \leq \varphi_b = 0,8 \sqrt{\frac{A_{b,max}}{A_{b,loc}}} \leq 2,5$$

$A_{b,max}$  – максимальная расчетная площадь в зависимости от расположения грузовой площади на поверхности элемента

# Максимальная расчетная площадь $A_{b,max}$

Определяется с учетом следующих положений:

- Центры тяжести площадей  $A_{b,loc}$  и  $A_{b,max}$  совпадают
- Границы расчетной площади  $A_{b,max}$  отстоят от каждой стороны площади  $A_{b,loc}$  на расстоянии, равном соответствующему размеру этих сторон

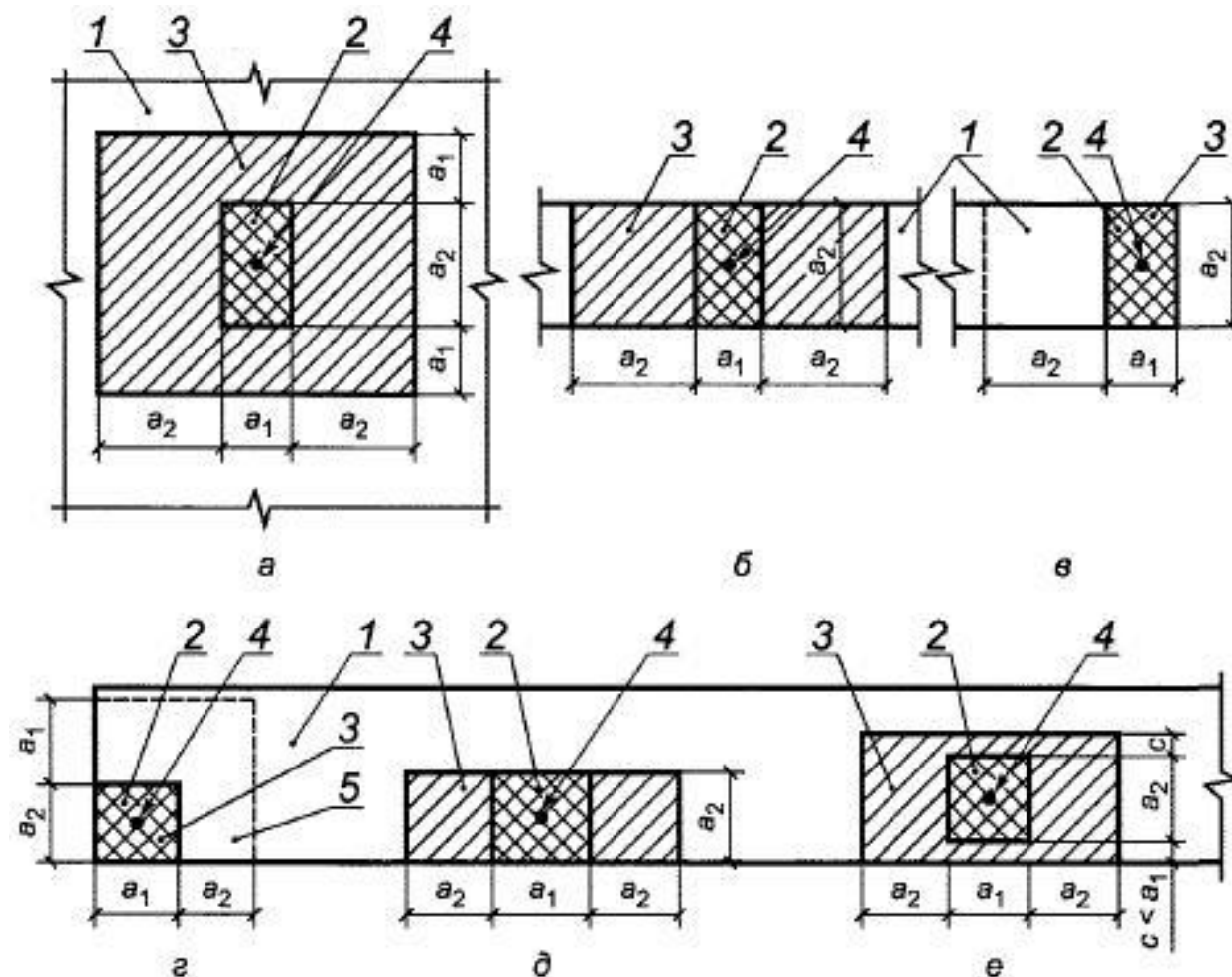
Обозначения к схеме:

1 – поверхность элемента;

2 – площадь смятия  $A_{b,loc}$ ;

3 – максимальная расчетная площадь  $A_{b,max}$ ; 4 – центр тяжести площадей  $A_{b,loc}$  и  $A_{b,max}$ ;

5 - минимальная зона косвенного армирования сетками, которая учитывается в расчете





# Расчет ЖБЭ на местное сжатие (п. 8.1.45 СП 63)

При наличии косвенной арматуры в виде сварных сеток:

$$N \leq \psi R_{bs,loc} A_{b,loc} \leq 2\psi R_{b,loc} A_{b,loc}$$

где  $N$ ,  $\psi$ ,  $\varphi_b$ ,  $A_{b,loc}$  и  $A_{b,max}$  – по аналогии с п. 8.1.44 СП 63.13330

$R_{bs,loc} = \varphi_b R_b + 2\varphi_{s,xy} R_{s,xy} \mu_{s,xy}$  – приведенное расчетное сопротивление бетона при местном сжатии с учетом косвенной арматуры,

где  $\varphi_{s,xy}$  и  $\mu_{s,xy}$  – коэффициенты определяемые по формулам:

$$\varphi_{s,xy} = 0,8 \sqrt{\frac{A_{b,loc,ef}}{A_{b,loc}}} \quad \text{и} \quad \mu_{s,xy} = \frac{n_x A_{sx} l_x + n_y A_{sy} l_y}{s A_{b,loc,ef}},$$

где  $A_{b,loc,ef}$  – площадь сетки косвенного армирования по крайним стержням

$n_x A_{sx} l_x$  и  $n_y A_{sy} l_y$  – количество, площадь сечения и длина стержней по  $X$  и  $Y$

$s$  – шаг сеток косвенного армирования

# Пример 5. Железобетонная балка на местное сжатие

Дано: монолитные железобетонные балки из Примеров 2 ( $P_{Y,2} = 200$  кН) и 4 ( $P_{Y,4} = 400$  кН) без косвенного армирования, площадь смятия  $A_{b,loc} = 0,01$  м<sup>2</sup> ( $a_1 = a_2 = c = 100$  мм) расположена по центру ширины поперечного сечения балки (на продольной оси)

Определяем коэффициент  $\varphi_b$ :

$$\varphi_b = 0,8 \sqrt{\frac{A_{b,max}}{A_{b,loc}}} = 0,8 \sqrt{\frac{(2a_2 + a_1)(2c + a_2)}{A_{b,loc}}} = 0,8 \sqrt{\frac{(2 \cdot 0,1 + 0,1) \cdot (2 \cdot 0,1 + 0,1)}{0,01}} = 2,4 \leq 2,5$$

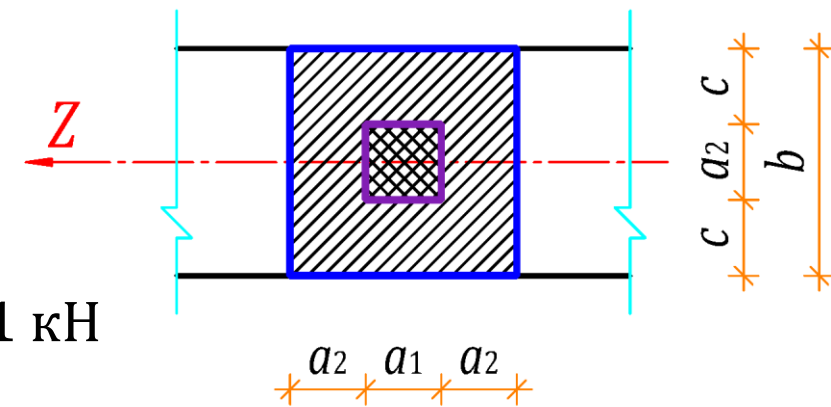
Определяем расчетное сопротивление бетона при местном сжатии:

$$R_{b,loc} = \varphi_b R_b = 2,4 \cdot 14,5 \cdot 10^3 = 34,8 \cdot 10^3 \text{ кПа}$$

Проверяем выполнение условия прочности для балок из Примеров 2 и 4:

$$P_{Y,2} = 200 \text{ кН} \leq \psi R_{b,loc} A_{b,loc} = 0,75 \cdot 34,8 \cdot 10^3 \cdot 0,01 = 261 \text{ кН}$$

$$P_{Y,4} = 400 \text{ кН} > \psi R_{b,loc} A_{b,loc} = 0,75 \cdot 34,8 \cdot 10^3 \cdot 0,01 = 261 \text{ кН}$$



# Литература:

- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции
- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия
- СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений
- СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии

**ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр**

# **Железобетонные и каменные конструкции**

## **Практическое занятие №4**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

www: [mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/](http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/)

e-mail: [gbk@mgsu.ru](mailto:gbk@mgsu.ru); [PekinDA@mgsu.ru](mailto:PekinDA@mgsu.ru)

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

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