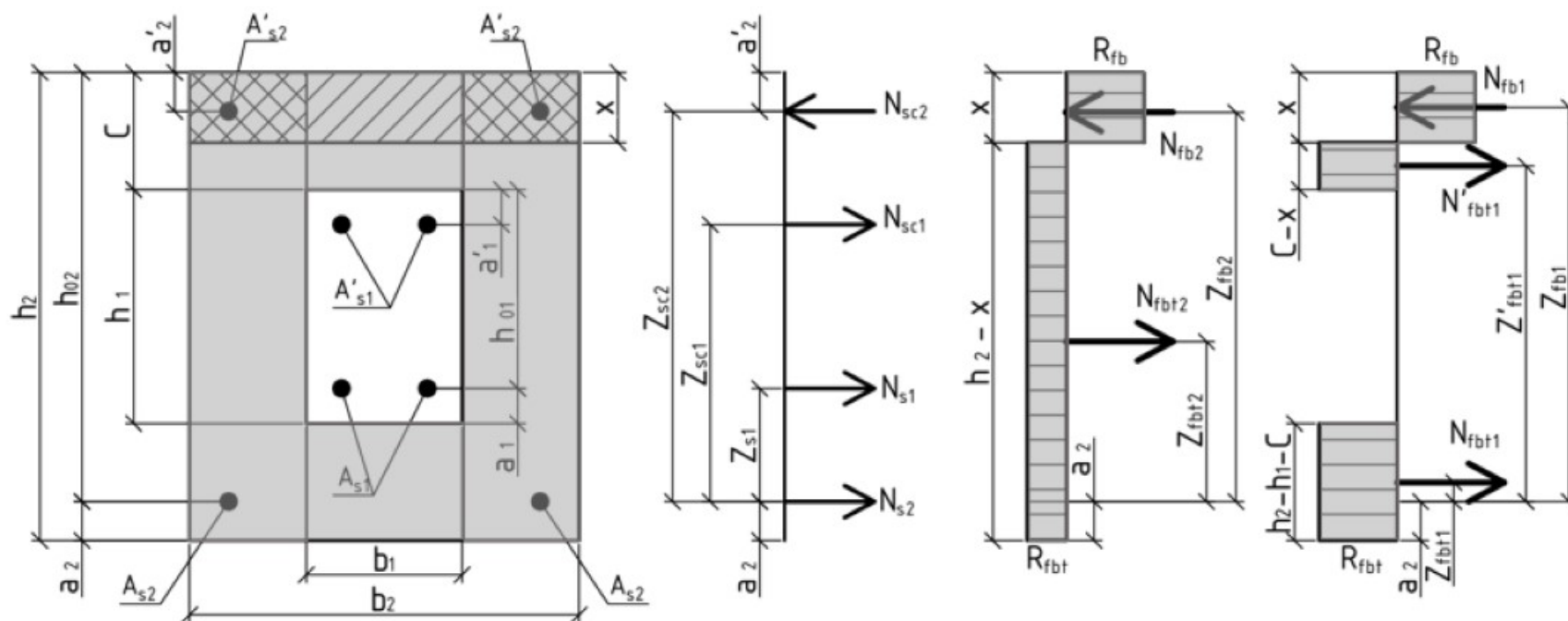


РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ОБОЙМОЙ ИЗ ФИБРОБЕТОНА



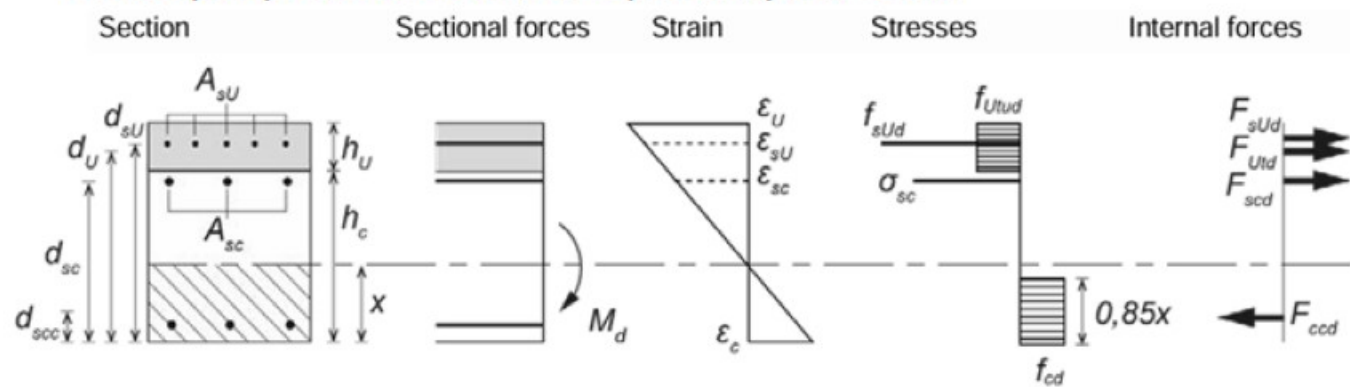
О.А. Яцковец, СПбГАСУ

В.М. Попов, канд. техн. наук, доцент, СПбГАСУ

SIA 2052(аналог НДМ)

Л.А. Шарафутдинов(НДМ)

Сталефиброжелезобетон в растянутой зоне



Сталефиброжелезобетон в сжатой зоне

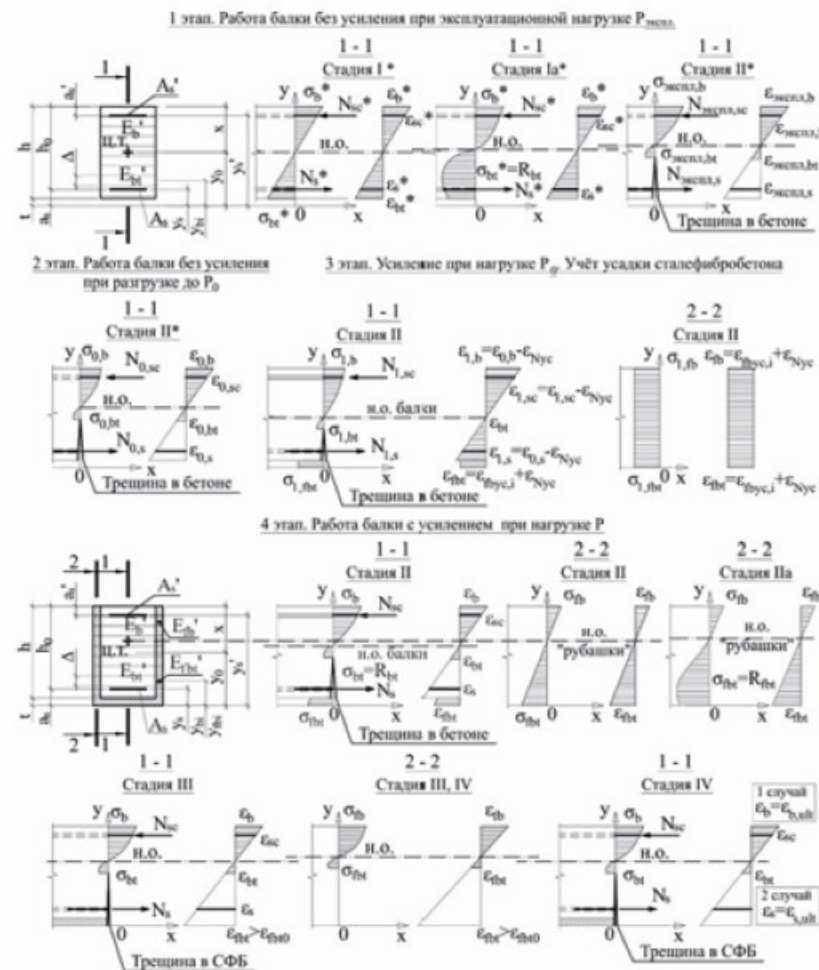
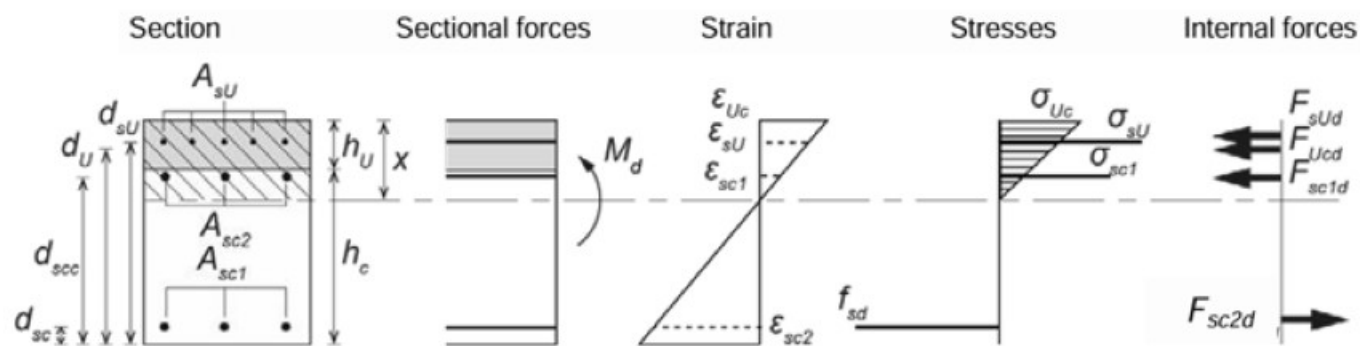


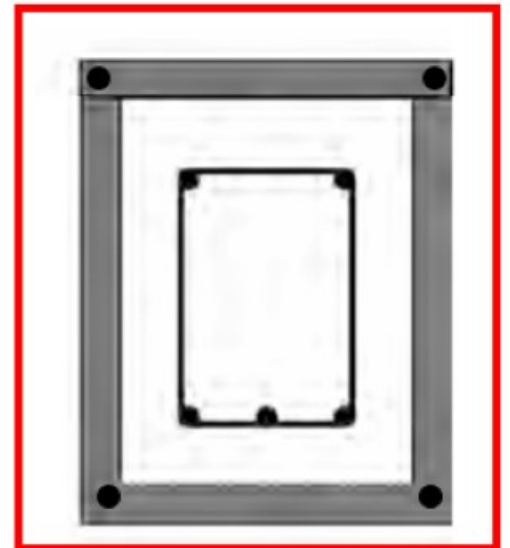
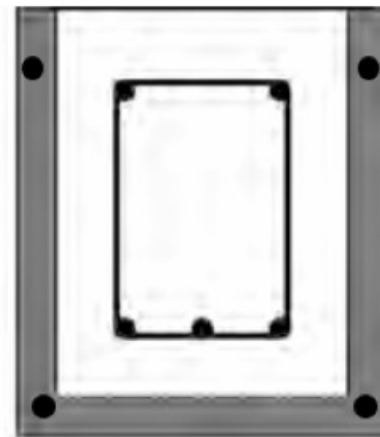
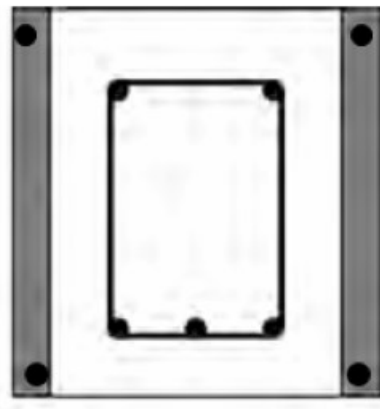
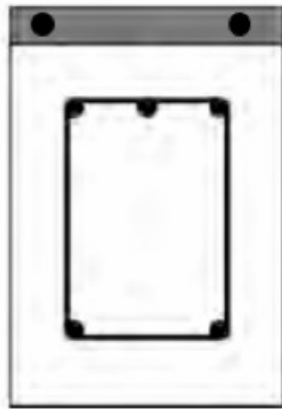
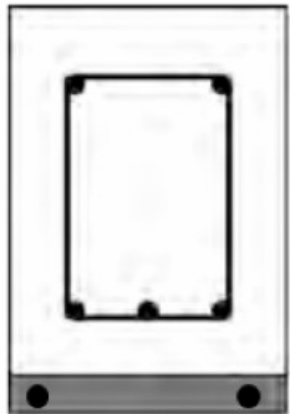
Рис. 1. Расчетная схема поперечного сечения изгибаемого железобетонного элемента при усилении сталефибробетонной рубашкой для построения нелинейной деформированной модели

Предмет исследования

несущая способность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных сталефибробетоном.

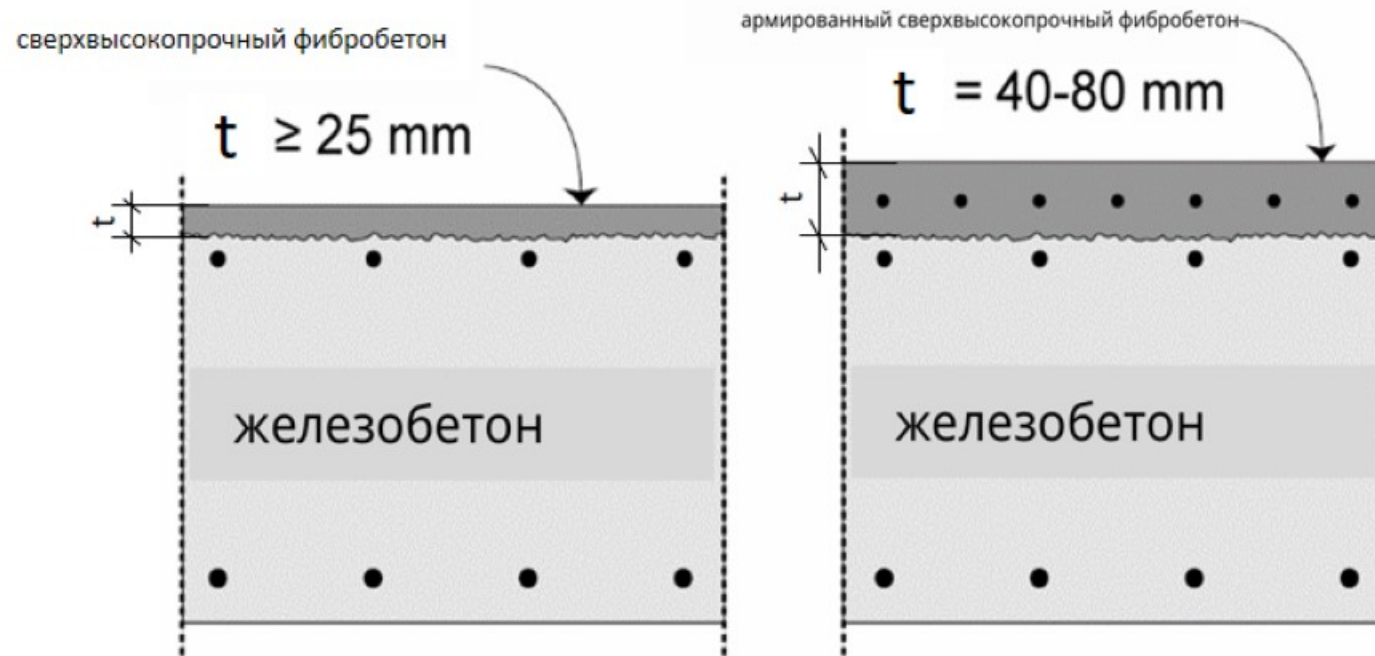
Задача исследования

Разработать инженерный метод расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных сталефиброжелезобетоном.



Допущения методики

- Гипотеза плоских сечений (при определении ξ_R)
- Фибробетон и бетон работают совместно
- Бетон и фибробетон работают как жесткопластичное тело



Технологическая подготовка поверхности

Для обеспечения совместной работы бетона и фибробетона необходимы:

- Пескоструйная либо гидроструйная обработки поверхности;
- Предварительное увлажнение бетонной поверхности.



I. Определение граничной относительной высоты сжатой зоны $\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{fb2}}}$

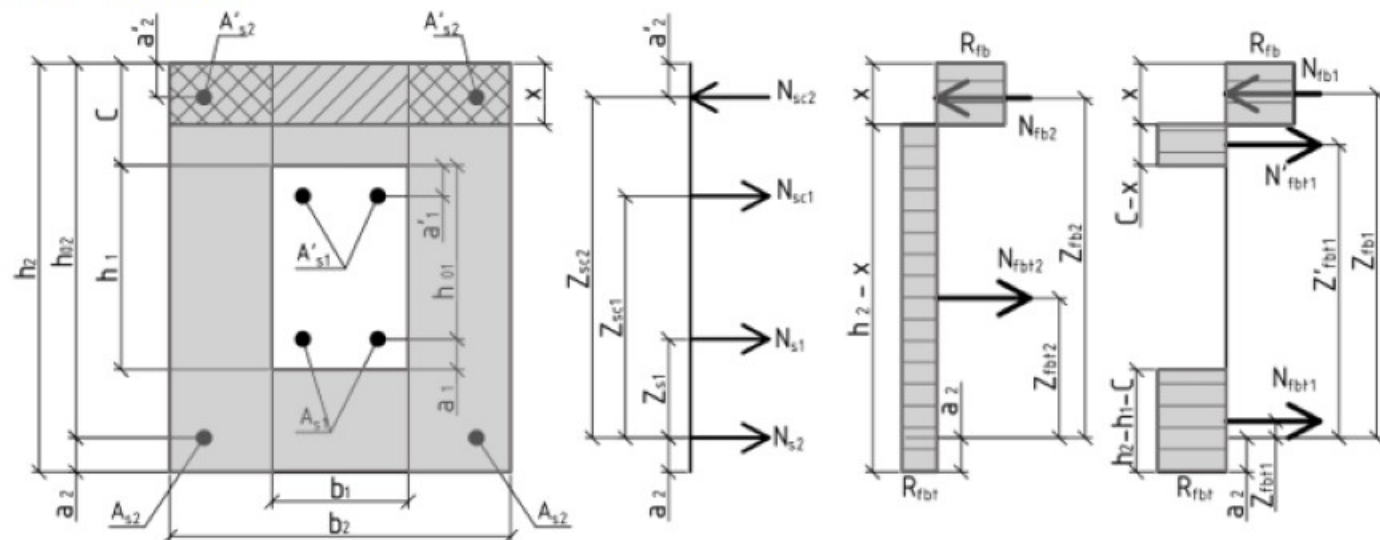
$\omega = 0,8$ – для фибробетона (бетона) классов до В60 включительно; $\omega = 0,7$ – для фибробетона (бетона) классов В70-В100 из мелкозернистого бетона

II.1. Определение примерного положения высоты сжатой зоны бетона.

- Возможны три случая:
- высота сжатой зоны \leq толщины верхнего фибробетона;
 - толщина верхнего фибробетона $<$ высота сжатой зоны \leq высоты усиливаемой балки;
 - высота сжатой зоны $>$ высоты усиливаемой балки.

Если при $x = C$ условие $N_{sc1} + N_{sc2} + N_{fb} + N_b \geq N_{s1} + N_{s2} + N_{fbt2} + N_{fbt1}$ выполняется, высота сжатой зоны \leq толщины верхнего фибробетона – п. III.1.

Если при $x = C$ условие $N_{sc1} + N_{sc2} + N_{fb} + N_b \geq N_{s1} + N_{s2} + N_{fbt2} + N_{fbt1}$ не выполняется, высота сжатой зоны $>$ толщины верхнего фибробетона – п. II.2.



Проверка несущей способности изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефибробетонном (обойма)



II.2. Определение примерного положения высоты сжатой зоны бетона.

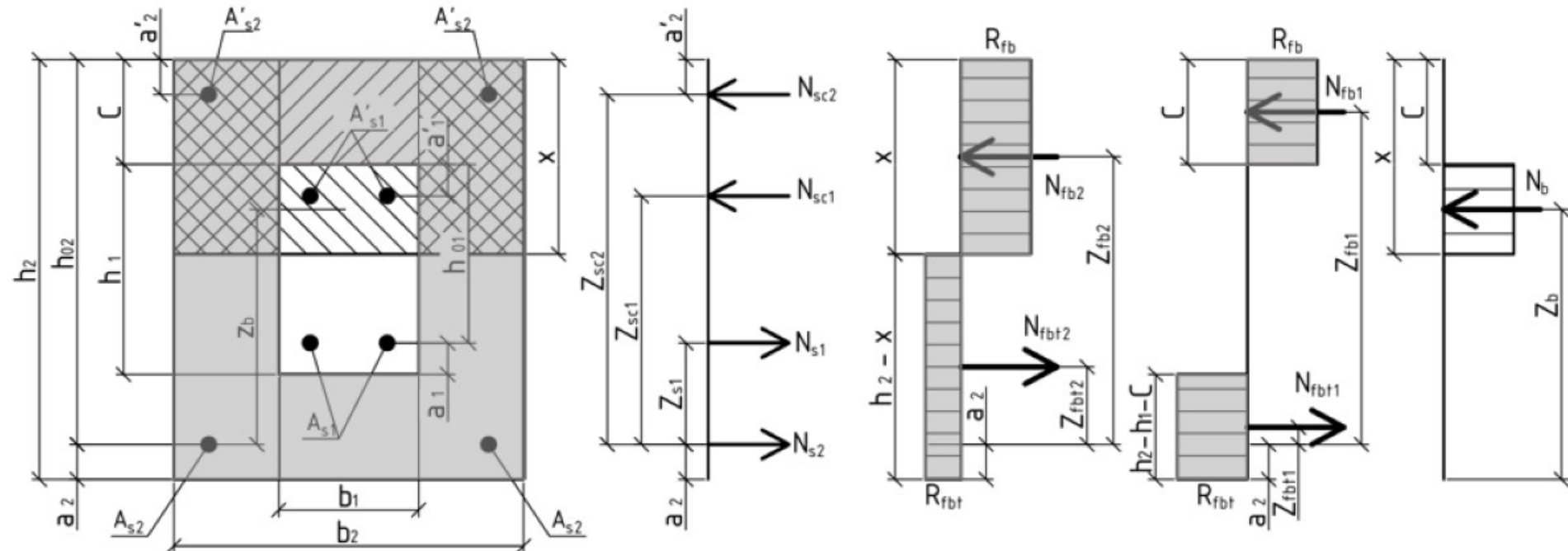
Если x не лежит в зоне сжатого фибробетона, то остаются два случая:

толщина верхнего фибробетона $<$ высота сжатой зоны \leq высоты усиливаемой балки;

высота сжатой зоны $>$ высоты усиливаемой балки.

Если при $x = C+h_1$ условие $N_{fbt2} + N_{fbt1} + N_{s2} \leq N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2} + N_{sc1} + N_{s1} + N_b$ выполняется, толщина верхнего фибробетона $<$ высота сжатой зоны \leq высоты усиливаемой балки – п. III.2.

Если при $x = C+h_1$ условие $N_{fbt2} + N_{fbt1} + N_{s2} \leq N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2} + N_{sc1} + N_{s1} + N_b$ не выполняется, высота сжатой зоны $>$ высоты усиливаемой балки – п. III.3



III.1 Определение значения высоты сжатой зоны x ($x \leq C$)

Уравнение равновесия продольных усилий в общем виде:

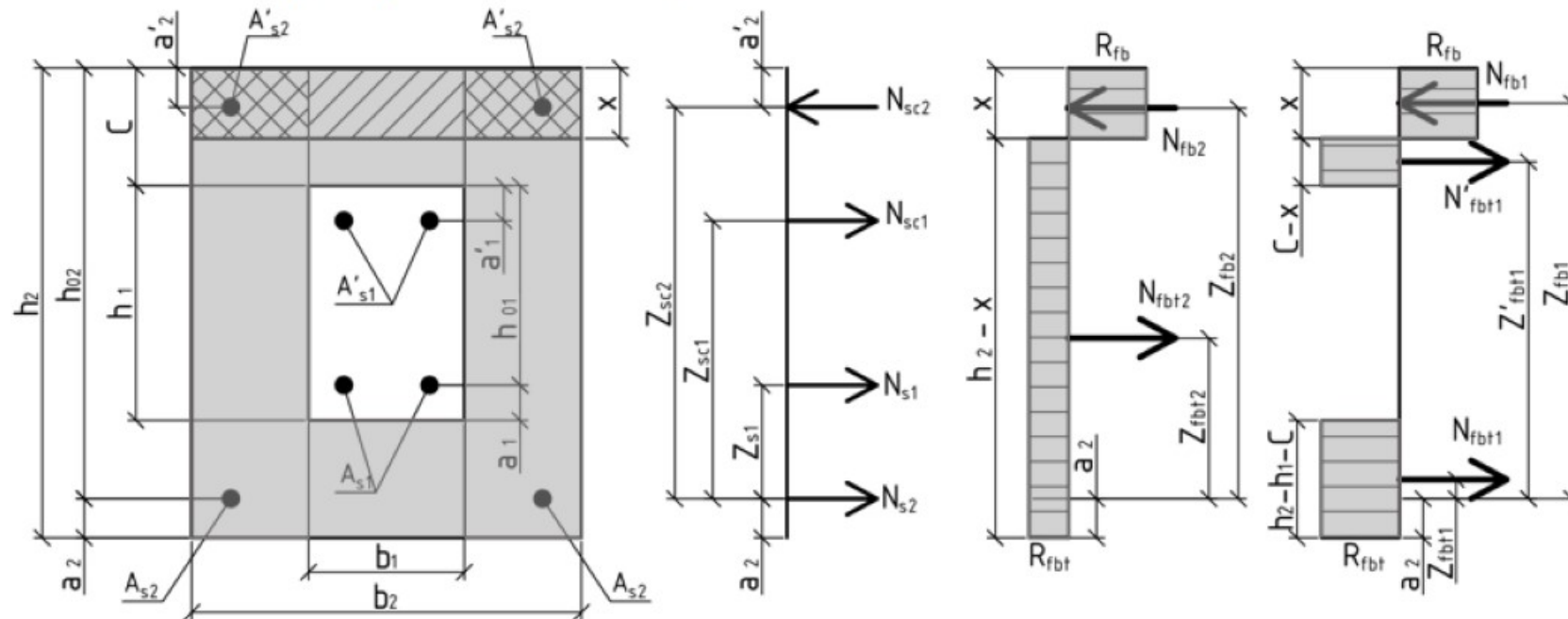
$$N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2} = N_{sc1} + N_{s1} + N_{s2} + N_{fbt2} + N_{fbt1} + N'_{fbt1}$$

Отсюда

$$x = \frac{R_{sc1}A'_{s1} + R_{s1}A_{s1} + R_{s2}A_{s2} - R_{sc2}A'_{s2} + R_{fbt3}(b_2h_2 - b_1h_1)}{b_2(R_{fb} + R_{fbt3})}$$

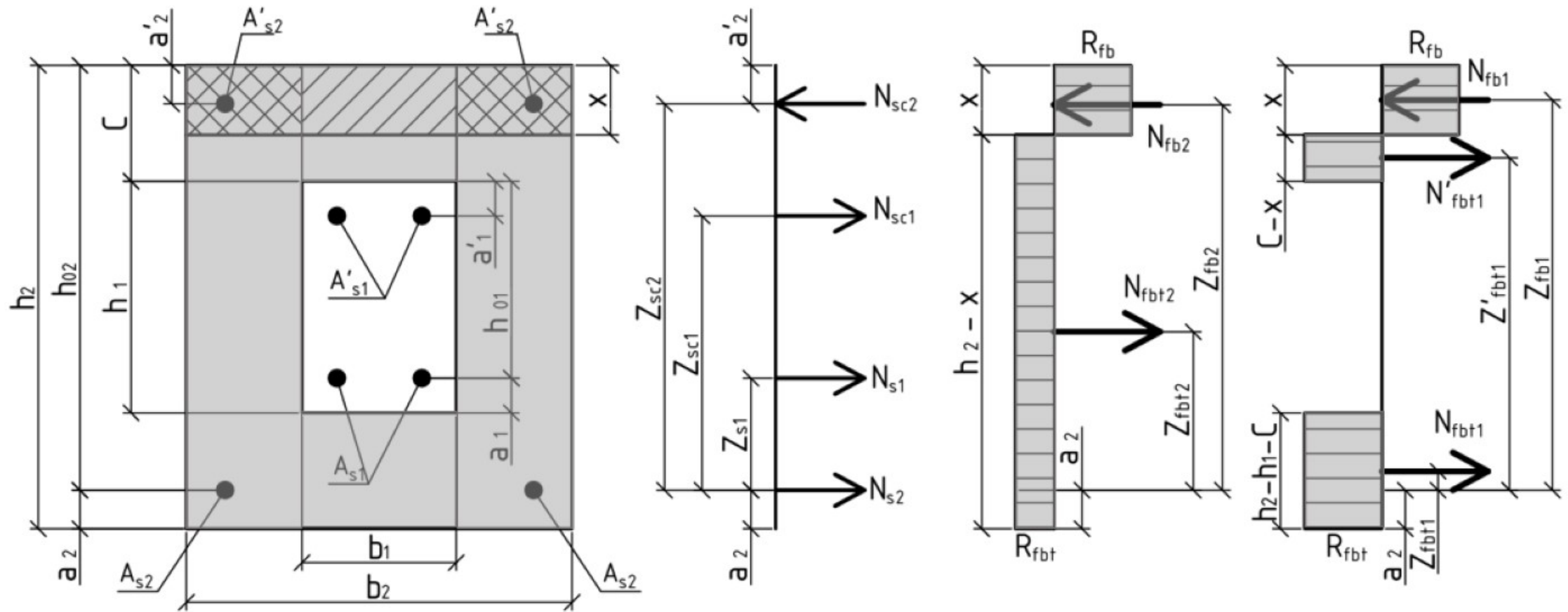
IV.1. Если условие $\xi \leq \xi_R$ выполняется, разрушение пластическое (по растянутой зоне).

Несущую способность проверяем по п. V.1.1, а иначе – п. V.1.2.



V.1.1. Условие прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения (уравнение равновесия моментов) в общем виде:

$$M \leq M_{ult} = N_{fb1}z_{fb1} + N_{fb2}z_{fb2} - N'_{fbt1}z'_{fbt1} - N_{fbt1}z_{fbt1} - N_{fbt2}z_{fbt2} + N_{sc2}z_{sc2} - N_{sc1}z_{sc1} - N_{s1}z_{s1}$$



III.2 Определение значения высоты сжатой зоны x ($C < x \leq C+h_1$)

Уравнение равновесия продольных усилий в общем виде:

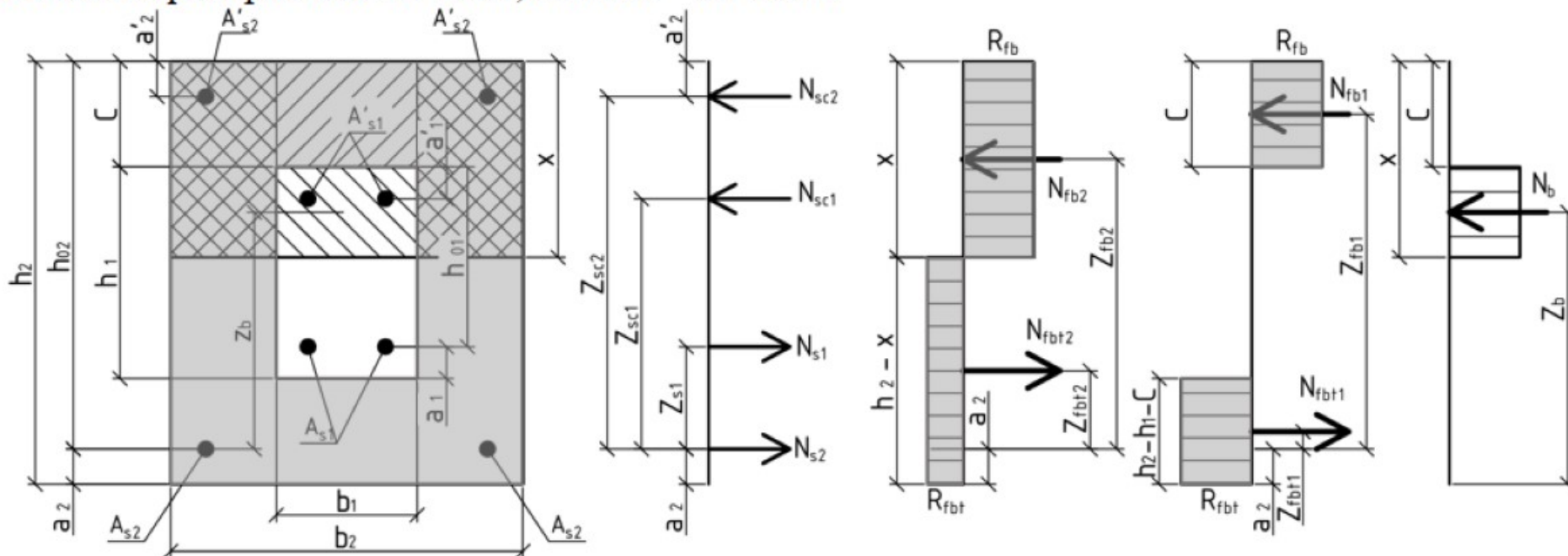
$$N_b + N_{fb1} + N_{fb2} = N_{s1} + N_{s2} - N_{sc1} - N_{sc2} + N_{fbt1} + N_{fbt2}$$

Отсюда

$$x = \frac{(R_b - R_{fb})b_1C + R_{s1}A_{s1} + R_{s2}A_{s2} - R_{sc1}A'_{s1} - R_{sc2}A'_{s2} + R_{fbt3}b_1(h_2 - h_1 - C) + R_{fbt3}(b_2 - b_1)h_2}{[R_b b_1 + (R_{fb} + R_{fbt3})(b_2 - b_1)]}$$

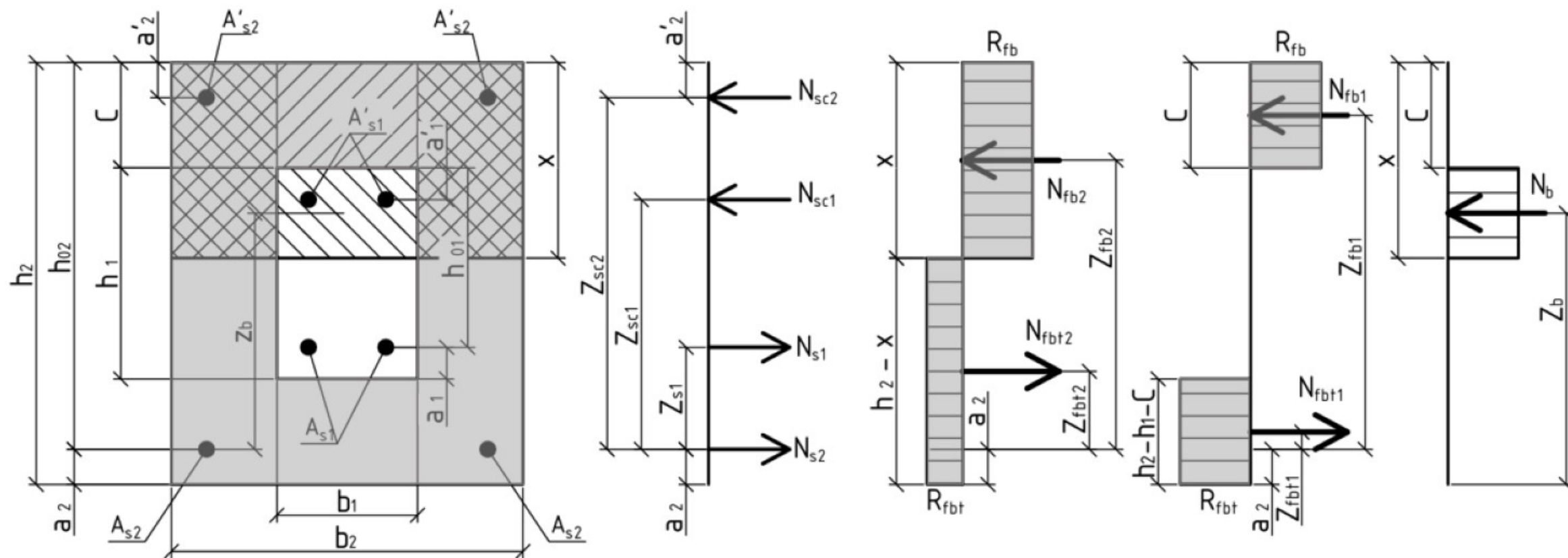
IV.2. Если условие $\xi \leq \xi_R$ выполняется, разрушение пластическое (по растянутой зоне).

Несущую способность проверяем по п. V.2.1, а иначе – п. V.2.2.



V.2.1. Условие прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения (уравнение равновесия моментов) в общем виде:

$$M \leq M_{ult} = N_b Z_b + N_{fb1} Z_{fb1} + N_{fb2} Z_{fb2} - N_{fbt1} Z_{fbt1} - N_{fbt2} Z_{fbt2} + N_{sc1} Z_{sc1} + N_{sc2} Z_{sc2} - N_{s1} Z_{s1}$$





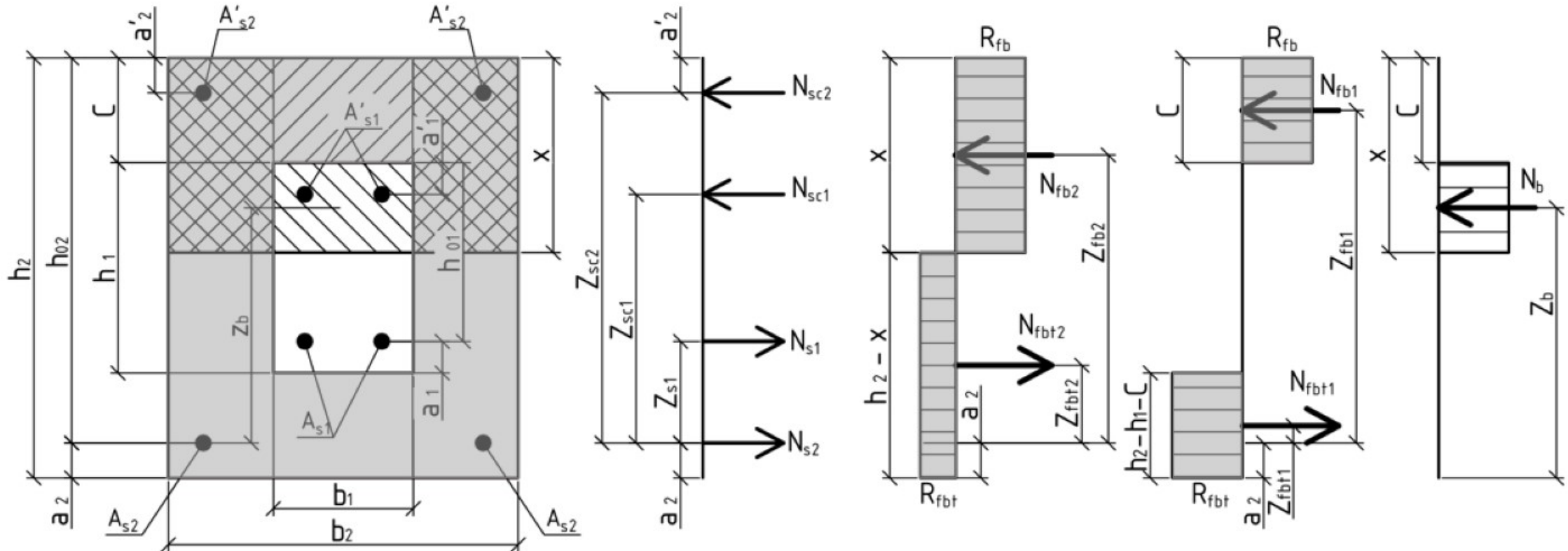
V.2.2 Если $\xi > \xi_R$, то разрушение хрупкое (по сжатой зоне).

Условие прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения, принимаем $x = x_R$

$$x = x_R = \xi_R h_0$$

вместо R_{fbt3} используем R_{fbt2}

$$M \leq M_{ult} = N_b Z_b + N_{fb1} Z_{fb1} + N_{fb2} Z_{fb2} - N_{fbt1} Z_{fbt1} - N_{fbt2} Z_{fbt2} + N_{sc1} Z_{sc1} + N_{sc2} Z_{sc2} - N_{s1} Z_{s1}$$



Проверка несущей способности изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



III.3 Определение значения высоты сжатой зоны x ($x > C+h_1$)

Уравнение равновесия продольных усилий в общем виде:

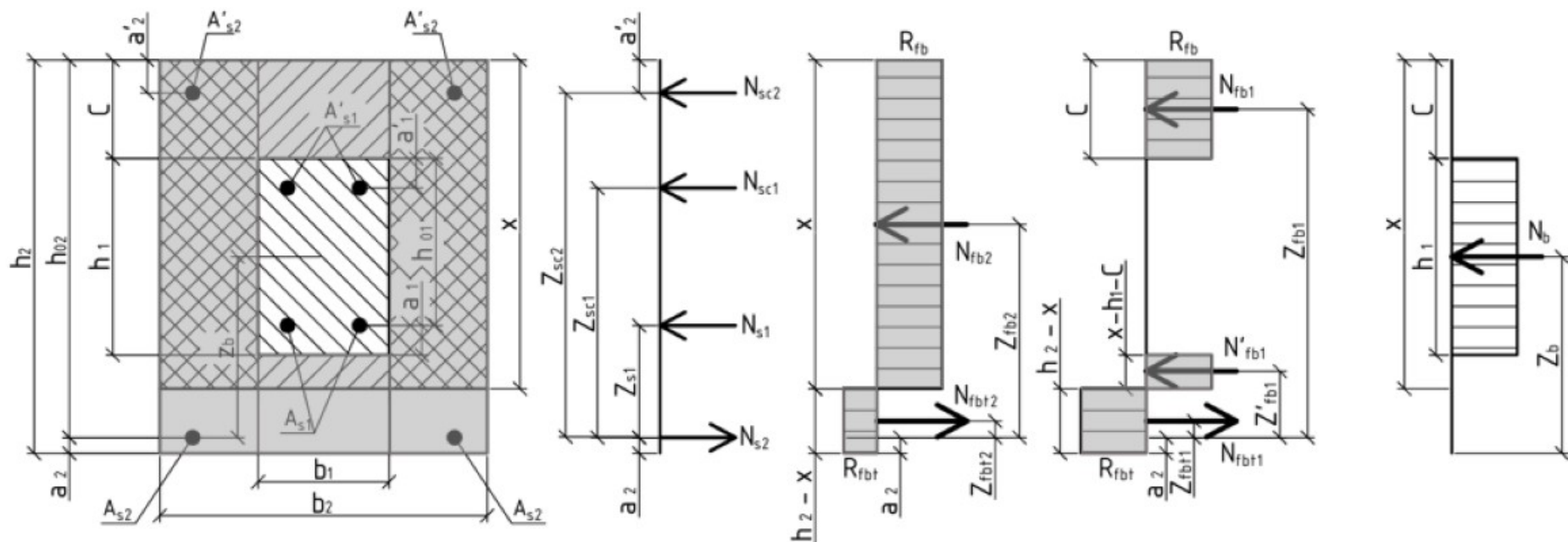
$$N_b + N_{fb1} + N'_{fb1} + N_{fb2} + N_{s1} + N_{sc1} + N_{sc2} = N_{fbt1} + N_{fbt2} + N_{s2}$$

Отсюда

$$x = \frac{N_{s2} + R_{fbt3}b_2h_2 - (N_{sc1} + N_{sc2} + N_{s1} + N_{fb1} + N_b) + R_{fb}b_1(C + h_1)}{b_2(R_{fb} + R_{fbt3})}$$

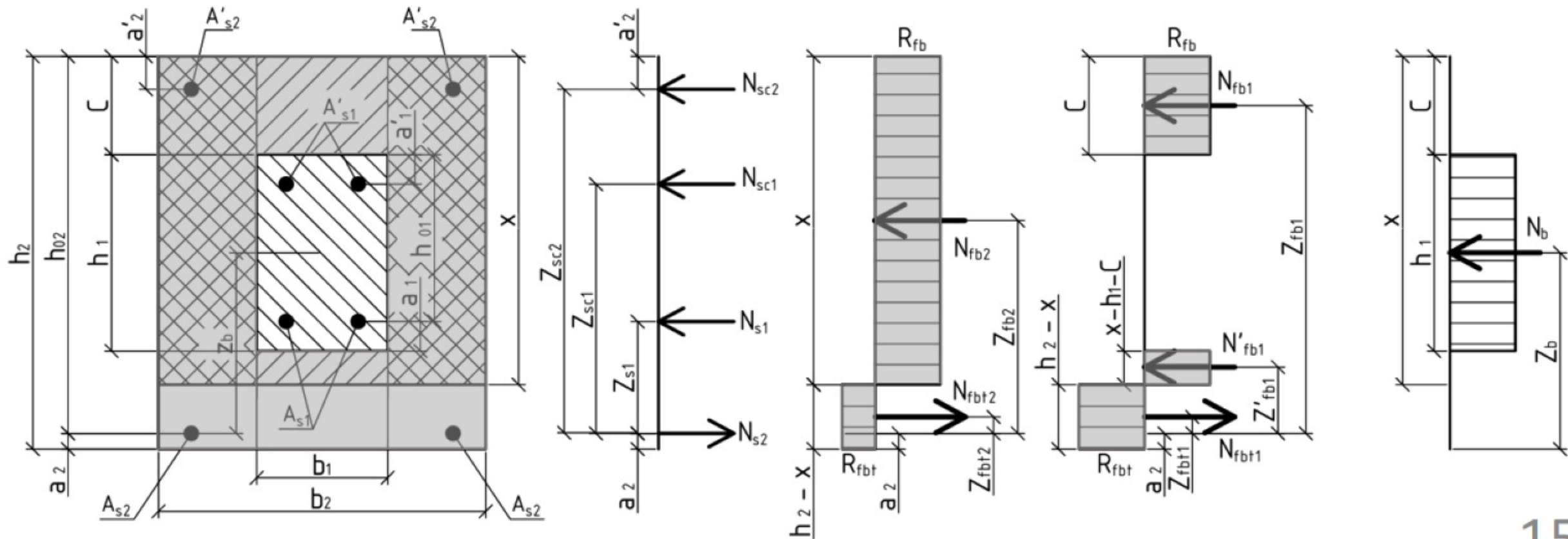
IV.3. Если условие $\xi \leq \xi_R$ выполняется, разрушение пластическое (по растянутой зоне).

Несущую способность проверяем по п. V.3.1, а иначе – п. V.3.2.



V.3.1. Условие прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения (уравнение равновесия моментов) в общем виде:

$$M \leq M_{ult} = N_b z_b + N_{fb1} z_{fb1} + N'_{fb1} z'_{fb1} + N_{fb2} z_{fb2} - N_{fbt1} z_{fbt1} - N_{fbt2} z_{fbt2} + N_{sc1} z_{sc1} + N_{sc2} z_{sc2} + N_{s1} z_{s1}$$



Проверка несущей способности изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



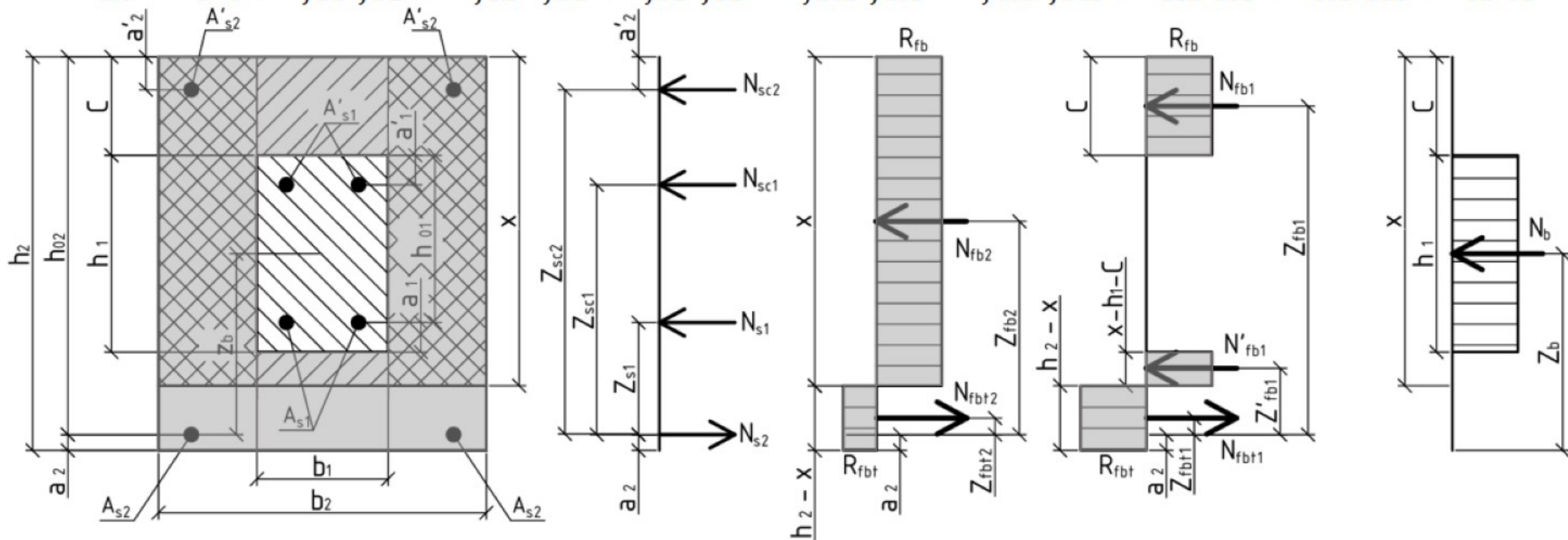
V.3.2 Если $\xi > \xi_R$, то разрушение хрупкое (по сжатой зоне).

Условие прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения, принимаем $x = x_R$

$$x = x_{гр} = \xi_R h_0$$

вместо R_{fbt3} используют R_{fbt2}

$$M \leq M_{ult} = N_b z_b + N_{fb1} z_{fb1} + N'_{fb1} z'_{fb1} + N_{fb2} z_{fb2} - N_{fbt1} z_{fbt1} - N_{fbt2} z_{fbt2} + N_{sc1} z_{sc1} + N_{sc2} z_{sc2} + N_{s1} z_{s1}$$



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефибробетоном (обойма)



I. Определение граничной относительной высоты сжатой зоны $\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{fb2}}}$

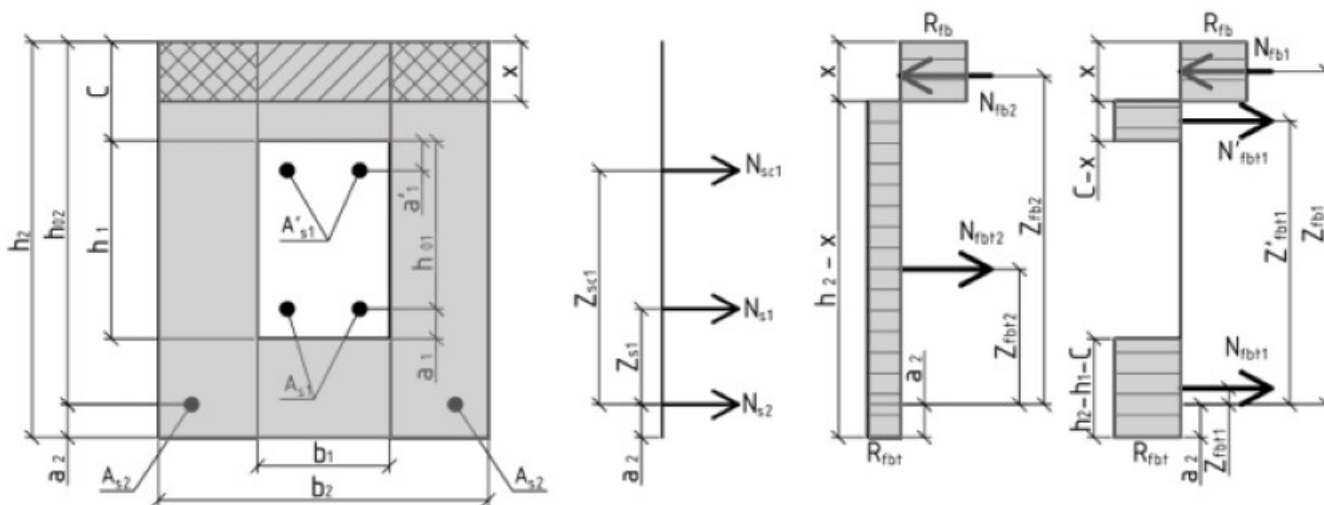
$\omega = 0,8$ – для фибробетона (бетона) классов до В60 включительно; $\omega = 0,7$ – для фибробетона (бетона) классов В70-В100 из мелкозернистого бетона

II.1. Определение положения высоты сжатой зоны бетона.

- Возможны три случая:
- высота сжатой зоны \leq толщины верхнего фибробетона;
 - толщина верхнего фибробетона $<$ высота сжатой зоны \leq высоты усиливаемой балки;
 - высота сжатой зоны $>$ высоты усиливаемой балки.

Если при $x = C$ условие $N_{fbt1}z_{fbt1} + N_{fbt2}z_{fbt2} + N_{sc1}z_{sc1} + N_{s1}z_{s1} + M + N'_{fbt1}z'_{fbt1} \leq N_{fb1}z_{fb1} + N_{fb2}z_{fb2}$ выполняется, высота сжатой зоны \leq толщины верхнего фибробетона – п. III.1.

Если при $x = C$ условие $N_{fbt1}z_{fbt1} + N_{fbt2}z_{fbt2} + N_{sc1}z_{sc1} + N_{s1}z_{s1} + M + N'_{fbt1}z'_{fbt1} \leq N_{fb1}z_{fb1} + N_{fb2}z_{fb2}$ не выполняется, высота сжатой зоны $>$ толщины верхнего фибробетона – п. II.2.



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



II.2. Определение примерного положения высоты сжатой зоны бетона.

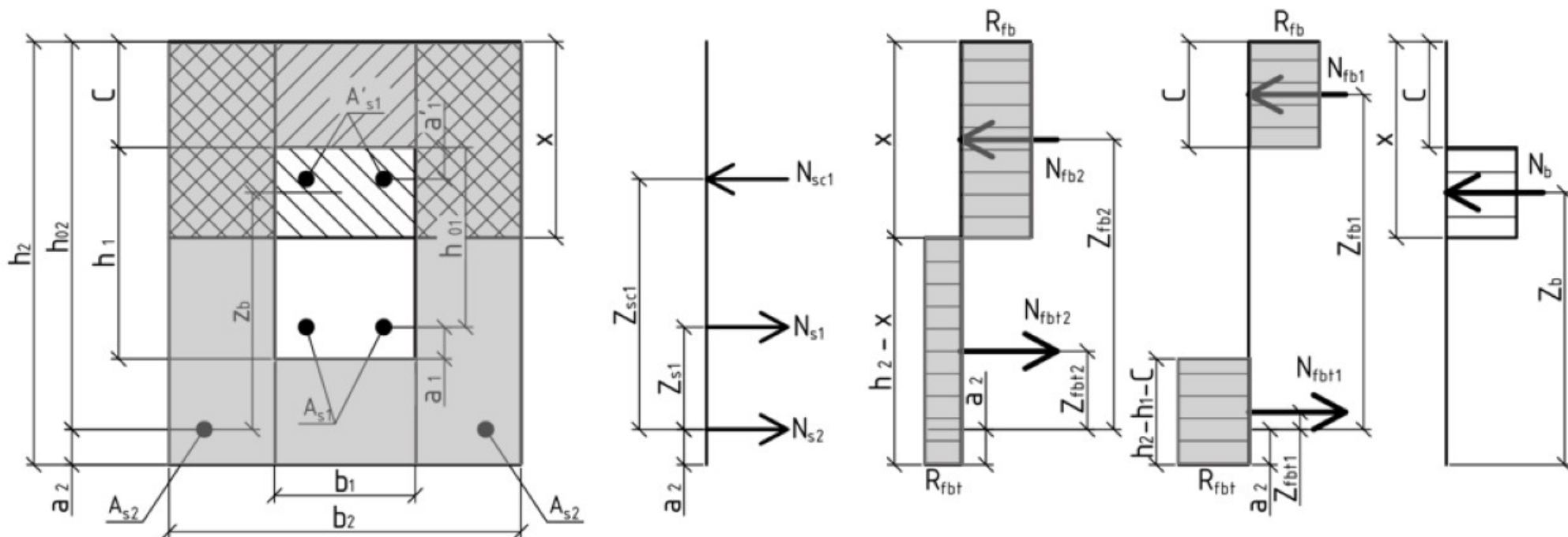
Если x не лежит в зоне сжатого фибробетона, то остаются два случая:

толщина верхнего фибробетона < высота сжатой зоны \leq высоты усиливаемой балки;

высота сжатой зоны > высоты усиливаемой балки.

Если при $x = C+h_1$ условие $N_{fbt1}z_{fbt1} + N_{fbt2}z_{fbt2} + N_{s1}z_{s1} + M \leq N_b z_b + N_{fb1}z_{fb1} + N_{fb2}z_{fb2} + N_{sc1}z_{sc1}$ выполняется, толщина верхнего фибробетона < высота сжатой зоны \leq высоты усиливаемой балки – п. III.2.

Если при $x = C+h_1$ условие $N_{fbt1}z_{fbt1} + N_{fbt2}z_{fbt2} + N_{s1}z_{s1} + M \leq N_b z_b + N_{fb1}z_{fb1} + N_{fb2}z_{fb2} + N_{sc1}z_{sc1}$ не выполняется, высота сжатой зоны > высоты усиливаемой балки – п. III.3



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



III.1 Определение значения высоты сжатой зоны x ($x \leq C$)

Приравняем изгибающий момент от нагрузки к несущей способности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения: $N_{fb1}z_{fb1} + N_{fb2}z_{fb2} - N_{fbt1}z_{fbt1} - N_{fbt2}z_{fbt2} - N_{sc1}z_{sc1} - N_{s1}z_{s1} - M - N'_{fbt1}z'_{fbt1} = 0$

Приведем данное уравнение к виду $Ax^2 + Bx + K = 0$

Где: $A = -\frac{b_2}{2}(R_{fbt3} + R_{fb});$

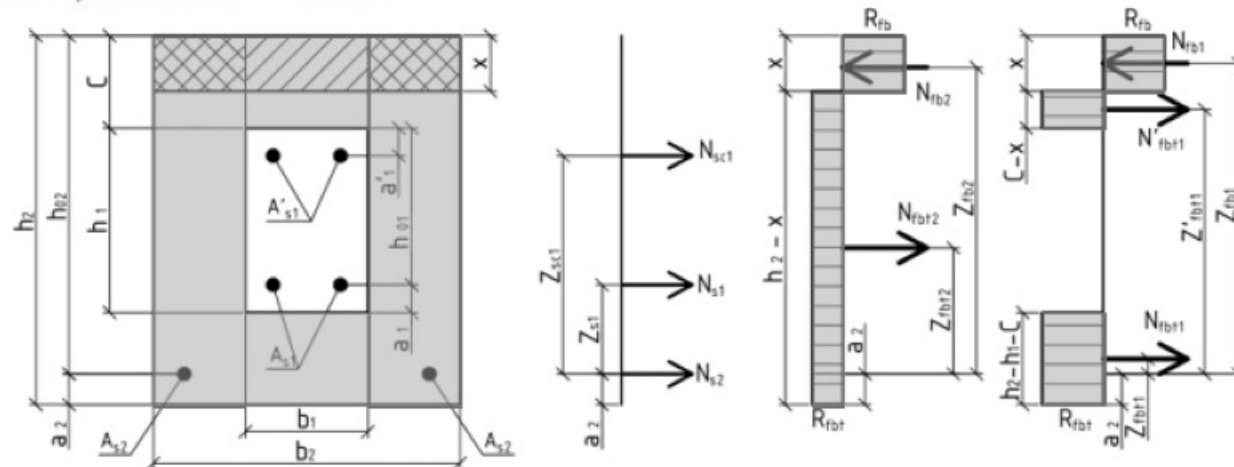
$B = R_{fb}b_2h_{02} + R_{fbt3}(b_2 - b_1)(h_2 - a_2) + R_{fbt3}b_1h_{02} = R_{fb}b_2h_{02} + R_{fbt3}(b_2h_2 - b_2a_2 + b_1a_2 - b_1h_2 + b_1h_{02});$

$K = -R_{sc1}A'_{s1}z_{sc1} - R_{s1}A_{s1}z_{s1} - M - R_{fbt3}b_1(h_2 - h_1 - C)(0,5(h_2 - h_1 - C) - a_2) - \frac{R_{fbt3}(b_2 - b_1)}{2}h_2^2 + R_{fbt3}(b_2 - b_1)a_2h_2 - R_{fbt3}b_1Ch_{02} + \frac{R_{fbt3}b_1}{2}C^2$

Расчетную высоту сжатой зоны бетона найдем из решения квадратного уравнения в виде:

$$x = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

IV.1. Проверка условия: $\xi \leq \xi_R$ Если оно выполняется, то разрушение происходит по сжатому бетону. Требуемая площадь сечения арматуры из условия V.1.1, а иначе – V.1.2.



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



V.1.1. Определение площадь сечения растянутой арматуры

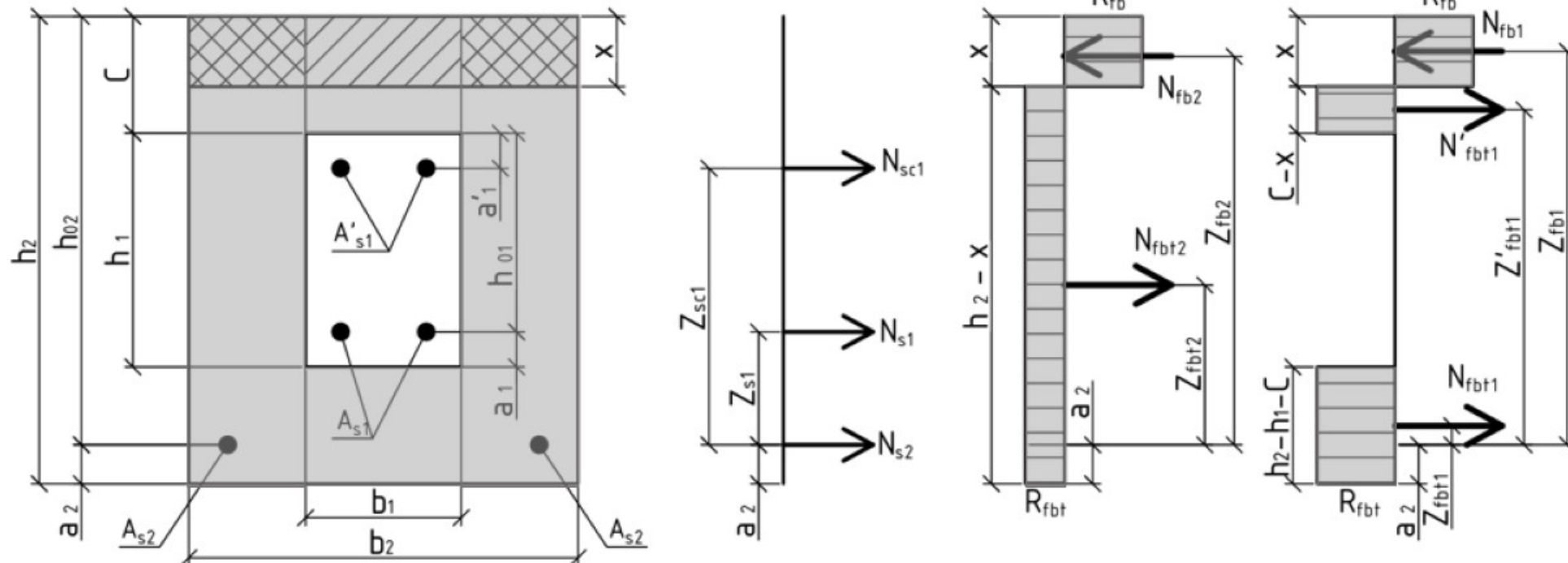
Уравнение равновесия продольных усилий в общем виде:

$$N_{fb1} + N_{fb2} = N_{sc1} + N_{s1} + N_{s2} + N_{fbt2} + N_{fbt1} + N'_{fbt1}$$

Требуемая площадь сечения продольной растянутой арматуры в общем виде:

$$A_{s2} = \frac{1}{R_{s2}} (R_{fb} b_2 x - R_{sc1} A'_{s1} - R_{s1} A_{s1} + R_{fbt3} b_2 (x - h_2) + R_{fbt3} b_1 h_1)$$

Далее по сортаменту подбираем продольную арматуру и выполняем конструирование.



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



V.1.2. Определение площадь сечения сжатой и растянутой арматуры

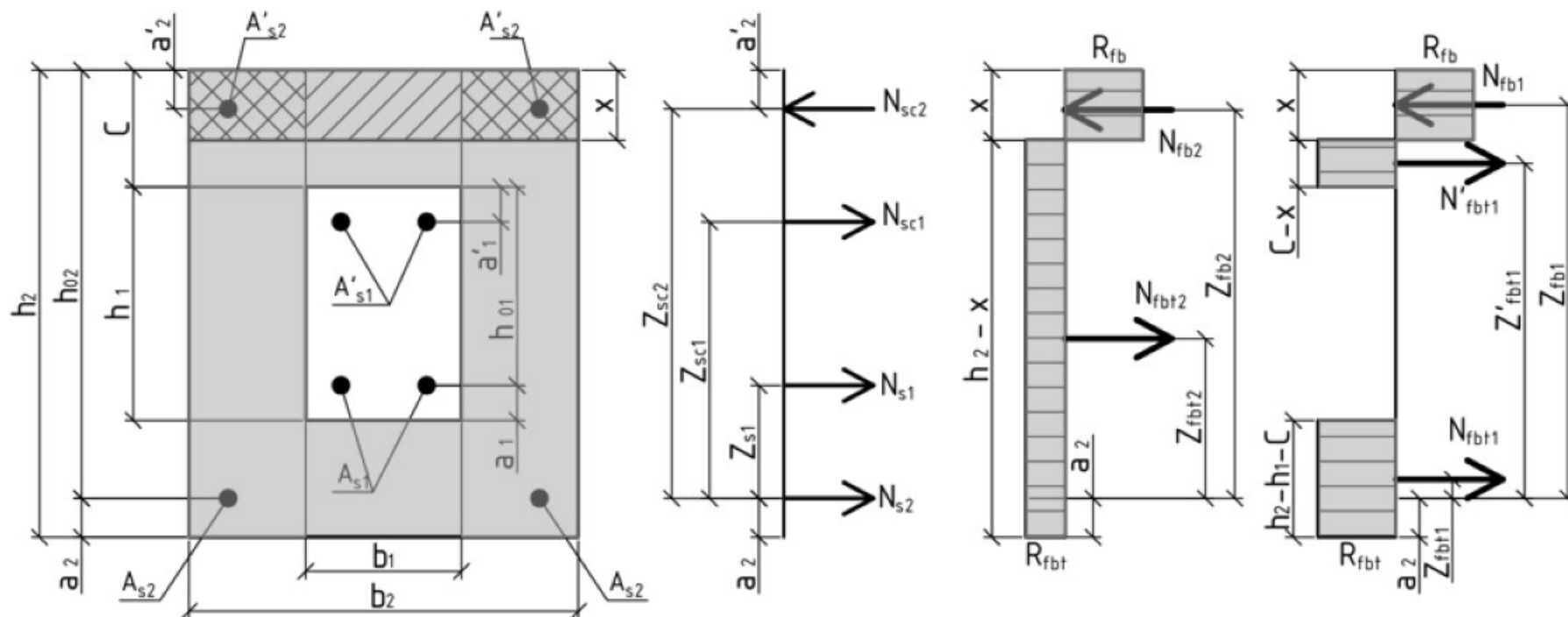
В этом случае, по расчету требуется сжатая арматура, т.к. иначе произойдет хрупкое разрушение по растянутой арматуре.

Принимаем $x = x_{гр} = 0,8 \frac{\varepsilon_{fb,ult}}{\varepsilon_{fb,ult} + \frac{R_S}{E_S}} h_0$, вместо R_{fbt3} используем R_{fbt2}

Требуемая площадь сечения сжатой арматуры:

$$A'_{s2} = \frac{1}{R_{sc2} Z_{sc2}} (M - N_{fb1} Z_{fb1} - N_{fb2} Z_{fb2} + N'_{fbt1} Z'_{fbt1} + N_{fbt1} Z_{fbt1} + N_{fbt2} Z_{fbt2} + N_{sc1} Z_{sc1} + N_{s1} Z_{s1})$$

Требуемая площадь сечения растянутой арматуры: $A_{s2} = \frac{1}{R_{s2}} (N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2} - N_{sc1} - N_{s1} - N_{fbt2} - N_{fbt1} - N'_{fbt1})$



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



III.2 Определение значения высоты сжатой зоны x ($C < x \leq C+h_1$)

Приравняем изгибающий момент от нагрузки к несущей способности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения:

$$N_b z_b + N_{fb1} z_{fb1} + N_{fb2} z_{fb2} - N_{fbt1} z_{fbt1} - N_{fbt2} z_{fbt2} + N_{sc1} z_{sc1} - N_{s1} z_{s1} - M = 0$$

Приведем данное уравнение к виду: $Ax^2 + Bx + K = 0$

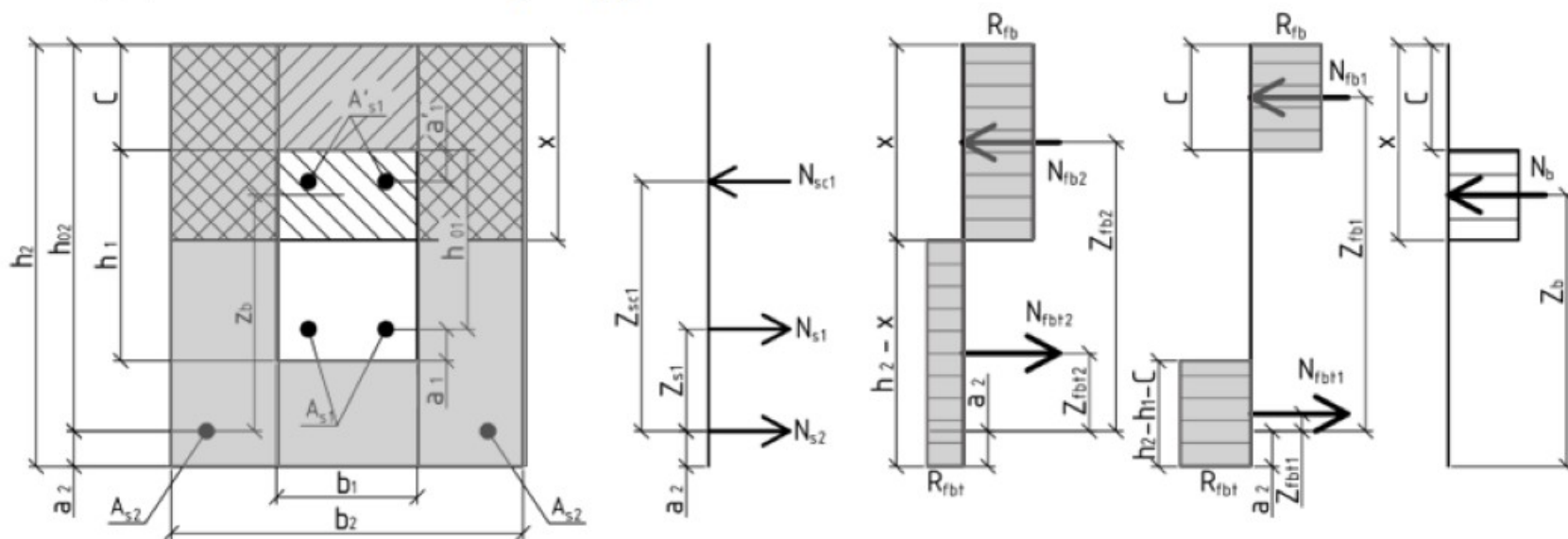
Где: $A = +0,5[R_b b_1 + (R_{fb} + R_{fbt3})(b_2 - b_1)]$;

$B = -[R_b b_1 + (R_{fb} + R_{fbt3})(b_2 - b_1)]h_{02}$;

$K = +R_b b_1(h_{02}C - 0,5C^2) - N_{fb1} z_{fb1} + N_{fbt1} z_{fbt1} + R_{fbt3}(b_2 - b_1)(0,5h_2^2 - h_2 a_2) - N_{sc1} z_{sc1} + N_{s1} z_{s1} + M$

Расчетную высоту сжатой зоны бетона найдем из решения квадратного уравнения в виде: $x = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot K}}{2 \cdot A}$

IV.2. Если $\xi \leq \xi_R$, площадь арматуры определяется из условия V.2.1, а иначе – необходимо увеличить размеры сечения элемента или площадь сечения сжатой арматуры .

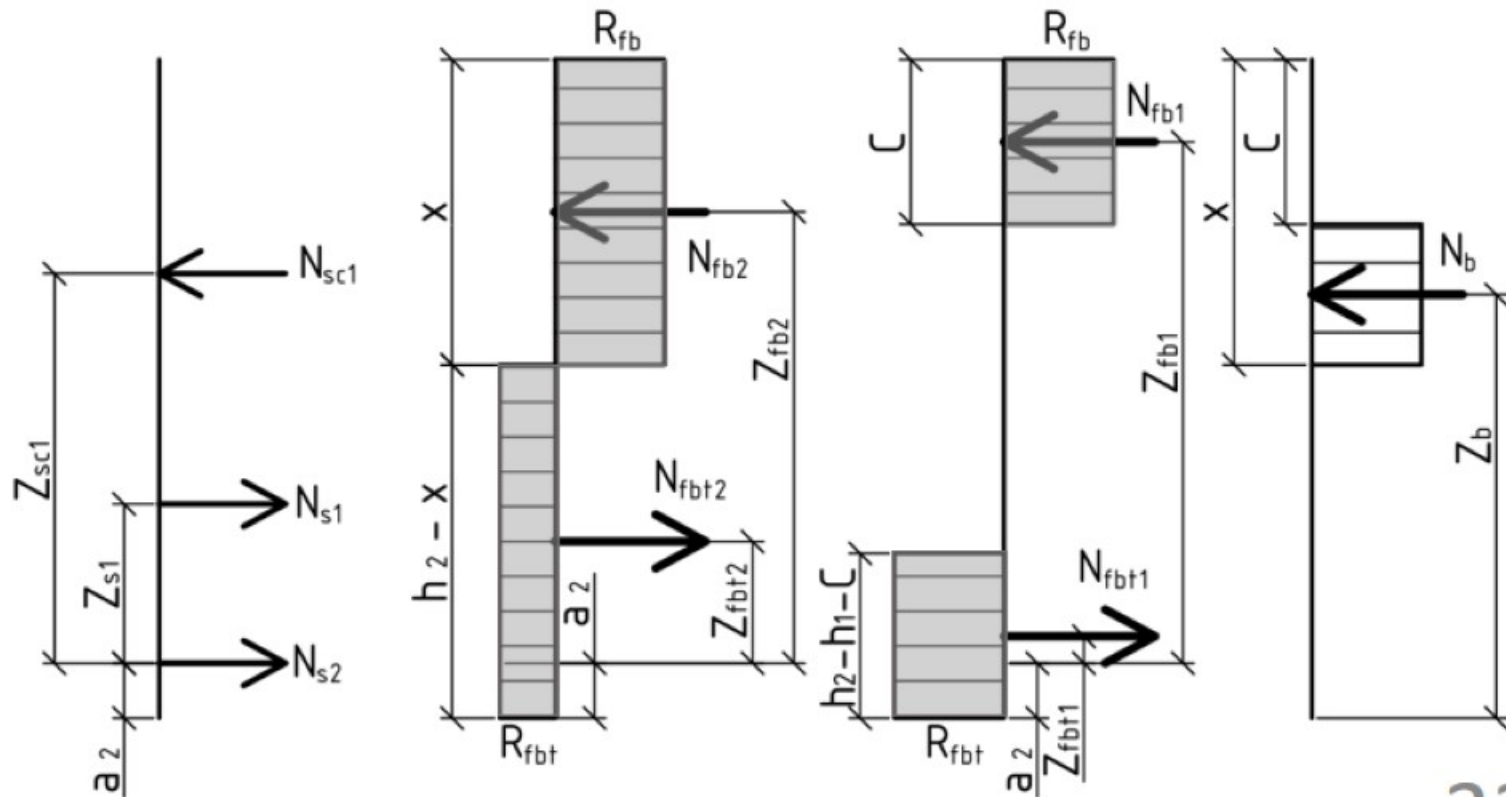
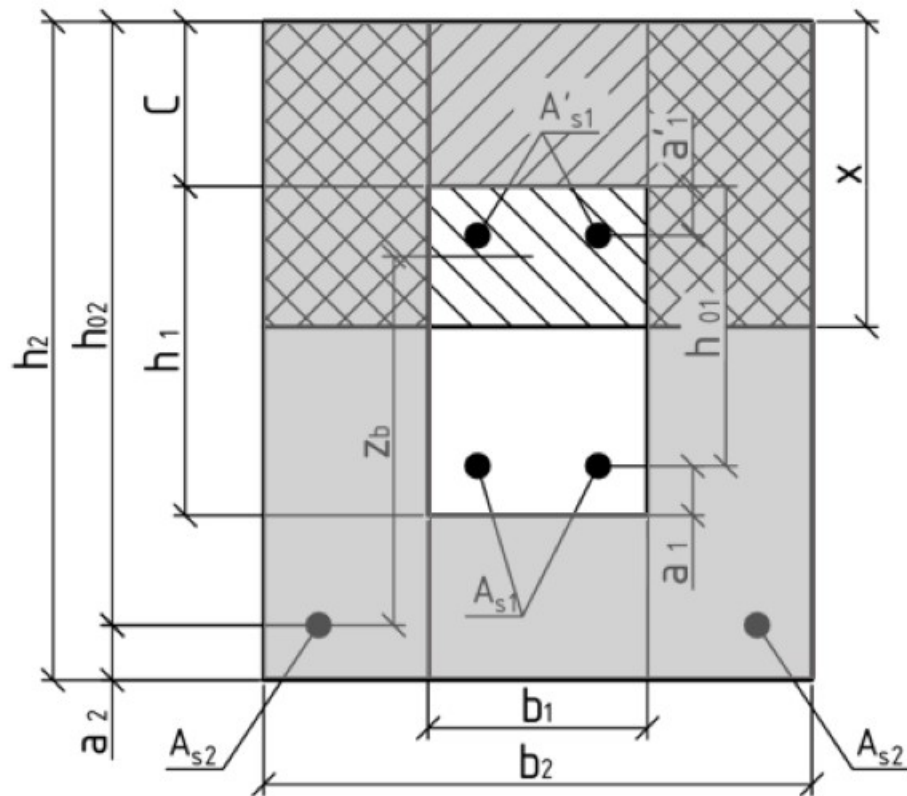


Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



V.2.1. Требуемая площадь сечения растянутой арматуры и уравнения равновесия продольных усилий:

$$A_{s2} = \frac{N_b + N_{fb1} + N_{fb2} - N_{s1} + N_{sc1} - N_{fbt1} - N_{fbt2}}{R_{s2}}$$



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



V.2.2. Если $\xi > \xi_R$, сжатая арматура требуется по расчету.

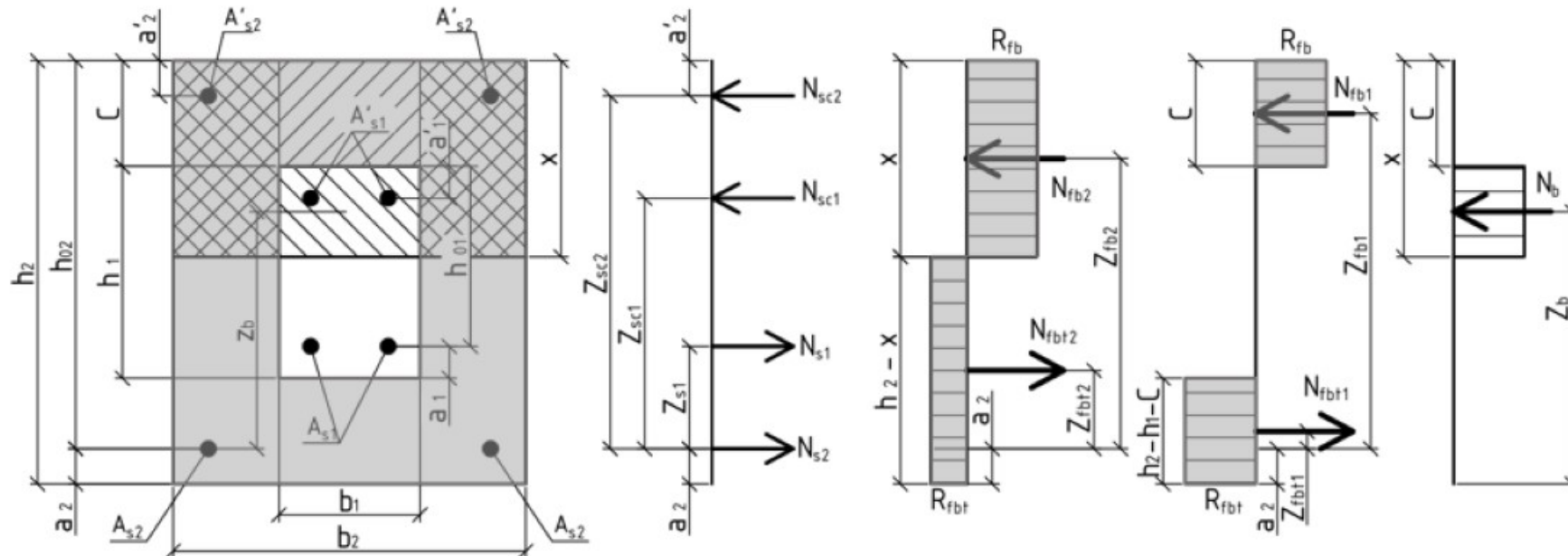
Примем $\chi = \chi_R = 0,8 \frac{\varepsilon_{fb,ult}}{\varepsilon_{fb,ult} + \frac{R_s}{E_s}} h_0$, далее вместо R_{fb3} используется R_{fb2}

Требуемая площадь сечения сжатой арматуры (из условия прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения):

$$A'_{s2} = \frac{1}{R_{sc2} z_{sc2}} (M - N_b z_b - N_{fb1} z_{fb1} - N_{fb2} z_{fb2} + N_{fbt1} z_{fbt1} + N_{fbt2} z_{fbt2} - N_{sc1} z_{sc1} + N_{s1} z_{s1})$$

Требуемая площадь сечения растянутой арматуры (из уравнения равновесия продольных усилий):

$$A_{s2} = \frac{1}{R_{s2}} (N_b + N_{fb1} + N_{fb2} - N_{s1} + N_{sc1} + N_{sc2} - N_{fbt1} - N_{fbt2})$$



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



III.3 Определение значения высоты сжатой зоны x ($x > C + h_1$)

Приравняем изгибающий момент от нагрузки к несущей способности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения:

$$N_b z_b + N_{fb1} z_{fb1} + N'_{fb1} z'_{fb1} + N_{fb2} z_{fb2} - N_{fbt1} z_{fbt1} - N_{fbt2} z_{fbt2} + N_{sc1} z_{sc1} + N_{s1} z_{s1} - M = 0$$

Приведем данное уравнение к виду: $Ax^2 + Bx + K = 0$

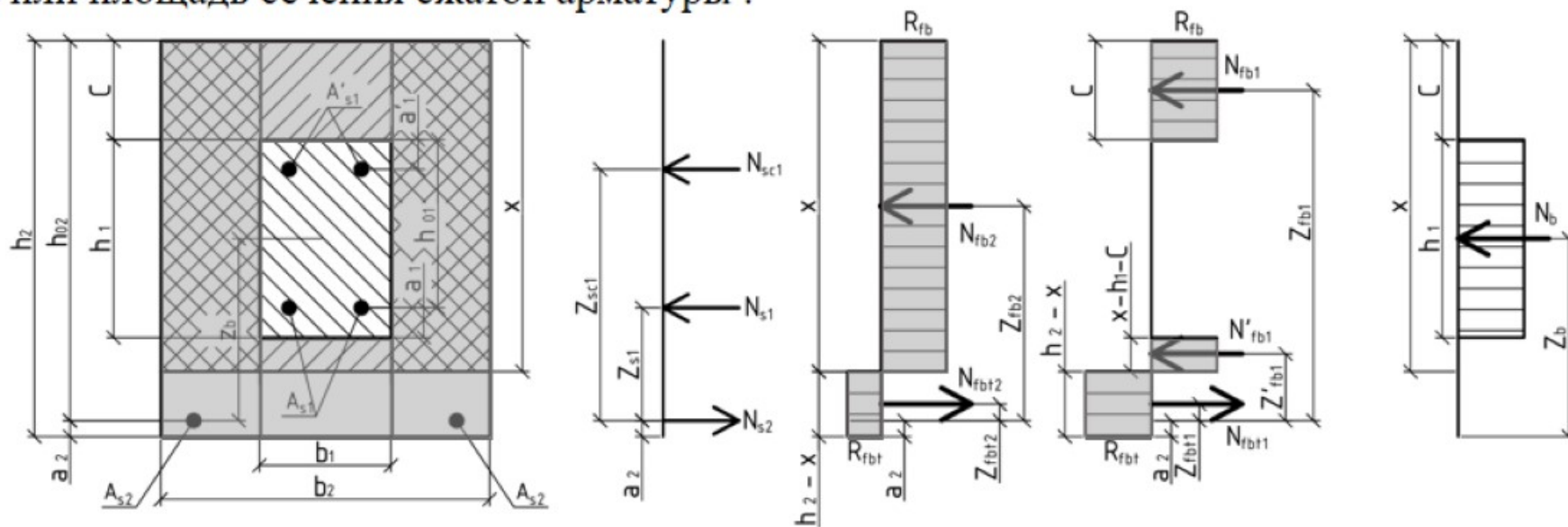
Где: $A = -0,5b_2(R_{fb} + R_{fbt3})$;

$B = b_2(R_{fb}h_{02} + R_{fbt3}(h_2 - a_2))$;

$K = N_b z_b + N_{fb1} z_{fb1} + N_{sc1} z_{sc1} + N_{s1} z_{s1} - M + R_{fb}b_1(0,5C^2 - Ch_{02} + Ch_1 - h_{02}h_1 + 0,5h_1^2) + R_{fbt3}b_2(a_2h_2 - 0,5h_2^2)$;

Расчетную высоту сжатой зоны бетона найдем из решения квадратного уравнения в виде: $x = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$

IV.3. Если $\xi \leq \xi_R$, площадь арматуры определяется из условия V.3.1, а иначе – необходимо увеличить размеры сечения элемента или площадь сечения сжатой арматуры .

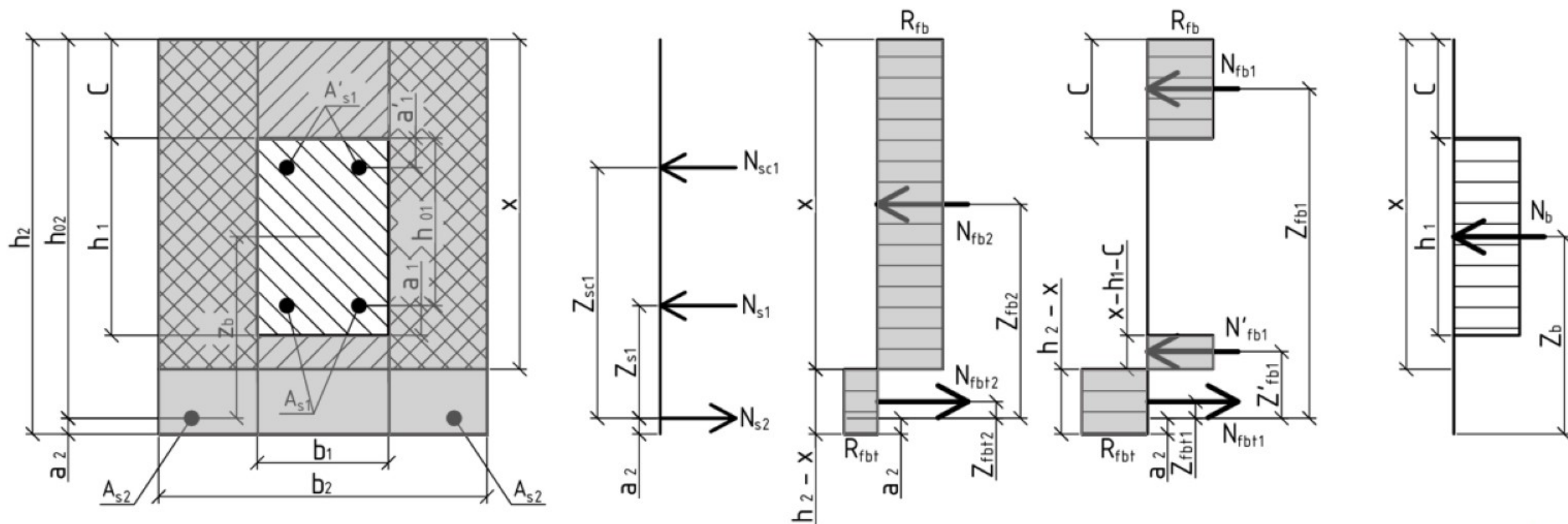


Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



V.3.1. Требуемая площадь сечения растянутой арматуры и уравнения равновесия продольных усилий:

$$A_{s2} = \frac{N_b + N_{fb1} + N'_{fb1} + N_{fb2} + N_{s1} + N_{sc1} - N_{fbt1} - N_{fbt2}}{R_{s2}}$$



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



V.3.2. Если $\xi > \xi_R$, сжатая арматура требуется по расчету.

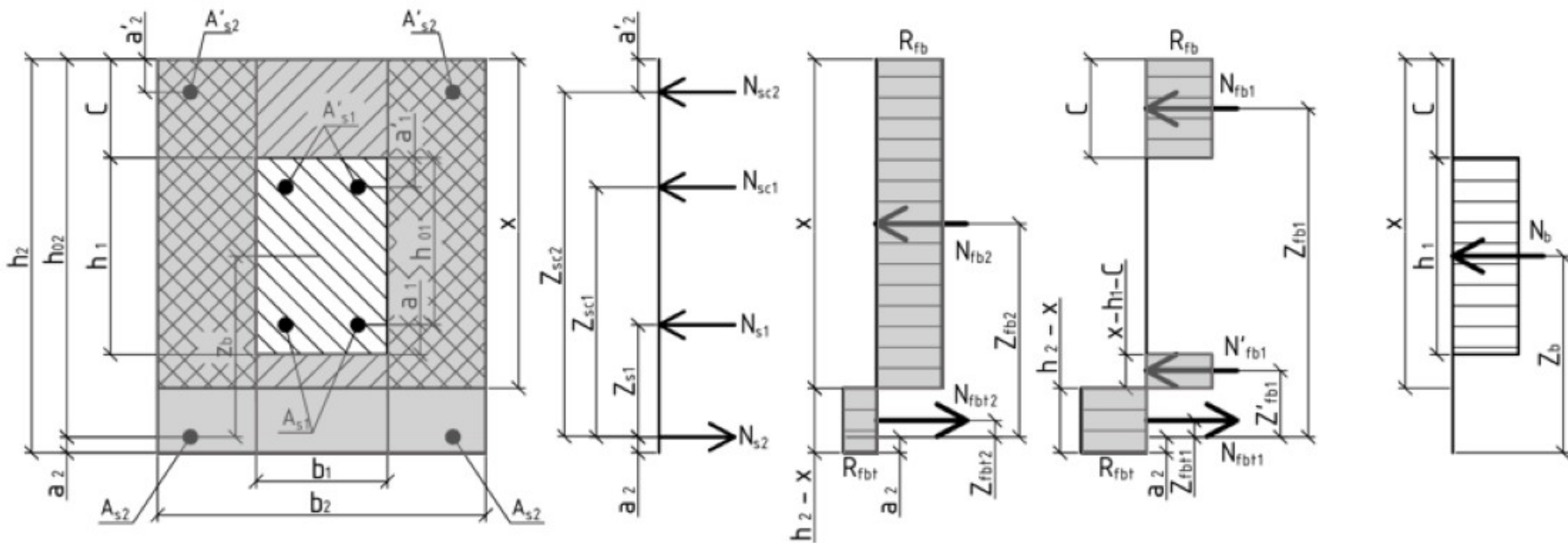
Примем $\chi = \chi_R = 0,8 \frac{\varepsilon_{fb,ult}}{\varepsilon_{fb,ult} + \frac{R_S}{E_S}} h_0$, далее вместо R_{fbt3} используется R_{fbt2}

Требуемая площадь сечения сжатой арматуры (из условия прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения):

$$A'_{s2} = \frac{1}{R_{sc2} z_{sc2}} (M - N_b z_b - N_{fb1} z_{fb1} - N'_{fb1} z'_{fb1} - N_{fb2} z_{fb2} + N_{fbt1} z_{fbt1} + N_{fbt2} z_{fbt2} - N_{sc1} z_{sc1} - N_{s1} z_{s1})$$

Требуемая площадь сечения растянутой арматуры (из уравнения равновесия продольных усилий):

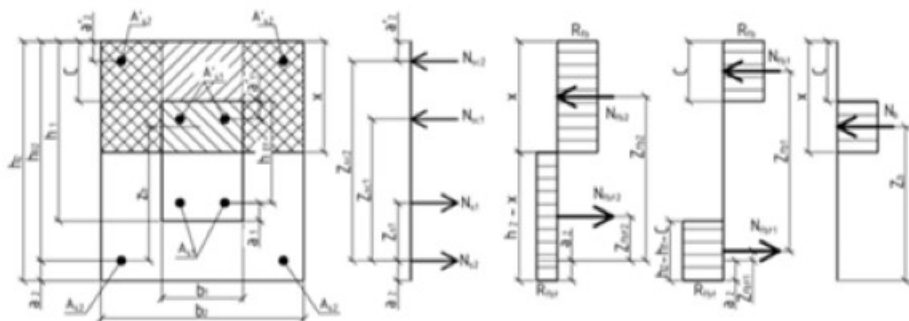
$$A_{s2} = \frac{1}{R_{S2}} (N_b + N_{fb1} + N'_{fb1} + N_{fb2} + N_{s1} + N_{sc1} + N_{sc2} - N_{fbt1} - N_{fbt2})$$



Расчет требуемой площади арматуры для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



Автоматизированная программа расчета требуемой площади сечения арматуры изгибаемого железобетонного элемента прямоугольного профиля с двойным армированием, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



Обозначения

- $M := 500 \text{ кН} \cdot \text{м}$ - действующий на сечение изгибающий момент;
- $b_1 := 200 \text{ мм}$ - ширина сечения железобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $h_1 := 200 \text{ мм}$ - высота сечения железобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $b_2 := 400 \text{ мм}$ - ширина сечения фибросталежелезобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $h_2 := 400 \text{ мм}$ - высота сечения фибросталежелезобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $C_{s2} := 100 \text{ мм}$ - расстояние от сжатой грани фибросталежелезобетонной части сечения до сжатой грани железобетонной части сечения;

Сюда вставить проверку на адекватность введенных данных!!!!

Также добавить автовставку от класса бетона и арматуры

- x - расчетная высота сжатой зоны железобетона (и фибросталежелезобетона);
- $R_{s1} := 400 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление растянутой арматуры железобетонной части сечения;
- $R_{sc1} := 400 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление сжатой арматуры железобетонной части сечения;
- $R_{s2} := 400 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $R_{sc2} := 400 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

- $R_b := 15.3 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление бетона сжатию;
- $R_{fb} := 133.8 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию;
- $R_{fbt} := 18.4 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление сталефибробетона растяжению;
- $A_{s1} := 200 \text{ мм}^2$ - площадь поперечного сечения растянутой арматуры железобетонной части сечения;
- $A_{s1p} := 200 \text{ мм}^2$ - площадь поперечного сечения сжатой арматуры железобетонной части сечения;
- A_{s2} - площадь поперечного сечения растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- A_{s2p} - площадь поперечного сечения сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $a_1 := 25 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры железобетонной части сечения до растянутой грани железобетонной части сечения;
- $a_{1p} := 25 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры железобетонной части сечения до сжатой грани железобетонной части;
- $a_2 := 25 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения до растянутой грани фибросталежелезобетонной части сечения;
- $a_{2p} := 25 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения до сжатой грани железобетонной части;
- $h_{01} := h_1 - a_1 = 175 \text{ мм}$ - рабочая высота сечения железобетонного элемента прямоугольного профиля (расстояние от сжатой грани железобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры железобетонной части сечения);
- $h_{02} := h_2 - a_2 = 375 \text{ мм}$ - рабочая высота сечения фибросталежелезобетонного элемента прямоугольного профиля (расстояние от сжатой грани фибросталежелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения);

Расчет

- $N_{s1} := R_{s1} \cdot A_{s1} = 80 \text{ кН}$ - усилия в растянутой арматуре железобетонной части сечения;
- $N_{sc1} := R_{sc1} \cdot A_{s1p} = 80 \text{ кН}$ - усилия в сжатой арматуре железобетонной части сечения;
- $N_{s2} := R_{s2} \cdot A_{s2p} = \dots \text{ кН}$ - усилия в сжатой арматуре фибросталежелезобетонной части сечения;
- $Z_{sc1} := h_{02} - C - a_{1p} = 250 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры железобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $Z_{sc2} := h_{02} - a_{2p} = 350 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $Z_{s1} := h_{02} - h_{01} - C = 100 \text{ мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры железобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

I. Определим граничную относительную высоту сжатой зоны:

$$\epsilon_s := 0.0025$$

$$\epsilon_{fb2} := 0.0035$$

$$\omega :=$$

$$\begin{matrix} \bullet 0.8 \\ \circ 0.7 \end{matrix}$$

0,8 в формуле для фибробетона из тяжелого бетона классов до В60 включительно; 0,7 для фибробетона из тяжелого бетона классов В70-В100 из мелкозернистого бетона

$$\xi_R := \frac{\omega}{1 + \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{fb2}}} = 0.467$$

II. Определение положения высоты сжатой зоны

II.1. Сжатая зона находится в сжатом слое фибробетона

Допустим, сжатая зона проходит прямо на границе сжатый фибробетон - усиливаемая балка, т.е. $x = C$. Тогда, запишем уравнения равновесия для такого случая:

$$N_{fb1} Z_{fb1} + N_{fb2} Z_{fb2} - N'_{fb1} Z'_{fb1} - N'_{fb2} Z'_{fb2} - N_{sc1} Z_{sc1} - N_{s1} Z_{s1} - M - N'_{fb1} Z'_{fb1} = 0$$

Преобразовав, получим условие, при котором граница сжатой зоны будет лежать в сжатом фибробетоне:

$$Q_1 := R_{fb} \cdot b_2 \cdot C \cdot (h_{02} - 0.5 \cdot C) - R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_1 - C) \cdot [0.5(h_2 - h_1 - C) - a_2]$$

$$Q_2 := -[R_{fb3} \cdot (b_2 - b_1)(h_2 - C)(0.5 \cdot h_2 - a_2 - 0.5 \cdot C) - R_{sc1} \cdot A_{s1p} \cdot (h_{02} - C - a_{1p})]$$

$$Q_3 := -[R_{s1} \cdot A_{s1} \cdot (h_{02} - h_{01} - C)]$$

$$\text{Положение_границы} := \begin{cases} \text{"x лежит в пределах C"} & \text{if } M \leq Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ \text{"x вне C"} & \text{if } M > Q_1 + Q_2 + Q_3 \end{cases}$$

Положение_границы = "x лежит в пределах C"

Если x лежит в пределах C - откройте п. III.1

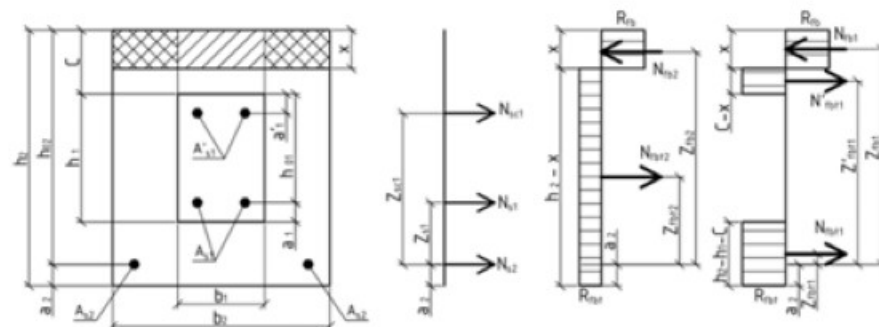
Если x находится вне пределов C - откройте п. II.1

II.2. Сжатая зона находится в усиливаемой балке

III. Определение высоты сжатой зоны бетона X

III.1. Определение X. (сжатая зона в сжатом фибробетоне)

III.1. Сжатая зона находится в сжатом фибробетоне



Запишем уравнения равновесия моментов относительно новой растянутой арматуры и выведем формулу для x:

$$M = M_{ult} = N_{fb1} Z_{fb1} + N_{fb2} Z_{fb2} - N'_{fb1} Z'_{fb1} - N_{fb1} Z_{fb1} - N_{fb2} Z_{fb2} - N_{sc1} Z_{sc1} - N_{s1} Z_{s1}$$

$N_{fb1} := R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_1 - C) = 368 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия в 1 первой части фибросталебетона (нижней части);

$z_{fb1} := 0.5(h_2 - h_1 - C) - a_2 = 25 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой сталефибробетонной части сечения (нижней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталебетонной части сечения;

$$A_y := -0.5 \cdot b_2 \cdot (R_{fb} + R_{fb3})$$

$$B_y := R_{fb} \cdot b_2 \cdot h_{02} + R_{fb3} \cdot (b_2 \cdot h_2 - b_2 \cdot a_2 + b_1 \cdot a_2 - b_1 \cdot h_2 + b_1 \cdot h_{02})$$

$$C_y := -1 \cdot R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_1 - C) \cdot [0.5(h_2 - h_1 - C) - a_2] - 0.5R_{fb3} \cdot (b_2 - b_1) \cdot h_2^2 + 0.5R_{fb3} \cdot b_1 \cdot C^2$$

$$C_y := C_y + R_{fb3} \cdot (b_2 - b_1) \cdot a_2 \cdot h_2 - N_{s1} \cdot z_{s1} - M - N_{sc1} \cdot z_{sc1} - R_{fb3} \cdot b_1 \cdot C \cdot h_{02}$$

Вычислим расчетную высоту сжатой зоны железобетона (и фибросталебетона):

$$x := \frac{-B_y + \sqrt{B_y^2 - 4 \cdot A_y \cdot C_y}}{2 \cdot A_y}$$

$$x = 42.447 \cdot \text{мм}$$

Если $x < C$ граница сжатой зоны действительно находится в верхней части фибробетона.

IV. Проверяем условие:

$$\xi := \frac{x}{h_{02}} = 0.113$$

$$\xi_R = 0.467$$

$$\text{Случай_разрушение} := \begin{cases} \text{"Кси <= Кси R"} & \text{if } \xi \leq \xi_R = \text{"Кси <= Кси R"} \\ \text{"Кси > Кси R"} & \text{if } \xi > \xi_R \end{cases}$$

Если $\text{Кси} \leq \text{Кси R}$ - откройте п. V.1.1, разрушение происходит по сжатию бетона. Сжатая арматура действительно не требуется.

Если $K_{сж} > K_{сж R}$ - откройте п. V.1.2. разрушение происходит по растянутой арматуре и требуется установка сжатой арматуры дополнительно.

III.1. Определение X (сжатая зона в сжатом фибробетоне)

V.1.1. Нахождение A_s (x лежит в C)

V. Найдем требуемую площадь растянутой арматуры

V.1. Граница сжатой зоны лежит в сжатом фибробетоне

V.1.1. $K_{сж} \leq K_{сж R}$

Определим усилия и плечи сил:

$N_{fb1} := R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_1 - C) = 368 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия в 1 первой части фибросталебетона (нижней части);

$N_{s1} := R_{s1} \cdot A_{s1} = 80 \cdot \text{кН}$ - усилия в растянутой арматуре железобетонной части сечения;

$N_{sc1} := R_{sc1} \cdot A_{s1p} = 80 \cdot \text{кН}$ - усилия в сжатой арматуре железобетонной части сечения;

$N_{fb1} := R_{fb} \cdot b_1 \cdot x = 1.136 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия в 1 части (верхней) фибросталебетона;

$N_{fb1p} := R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (C - x) = 211.795 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия в 1 части (верхней) фибросталебетона;

$N_{fb2} := R_{fb3} \cdot (b_2 - b_1) \cdot (h_2 - x) = 1.316 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия во 2 первой части фибросталебетона;

$N_{fb2} := R_{fb} \cdot (b_2 - b_1) \cdot x = 1.136 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия во 2 части фибросталебетона;

Вычислим плечи для нахождения моментов:

$z_{fb1p} := h_2 - x - 0.5 \cdot (C - x) = 303.777 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения (верхней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb1} := h_2 - 0.5x = 353.777 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой 1

сталефиброжелезобетонной части сечения (верхней) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb2} := h_2 - 0.5x = 353.777 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой 2

сталефиброжелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{sc1} := h_2 - C - a_{1p} = 250 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры железобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{sc2} := h_2 - a_{2p} = 350 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры

фибросталежелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{s1} := h_2 - h_{01} - C = 100 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести и растянутой арматуры

железобетонной части сечения до центра тяжести и растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb2} := 0.5(h_2 - h_1 - C) - a_2 = 25 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести и растянутой сталефиброжелезобетонной части сечения (нижней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

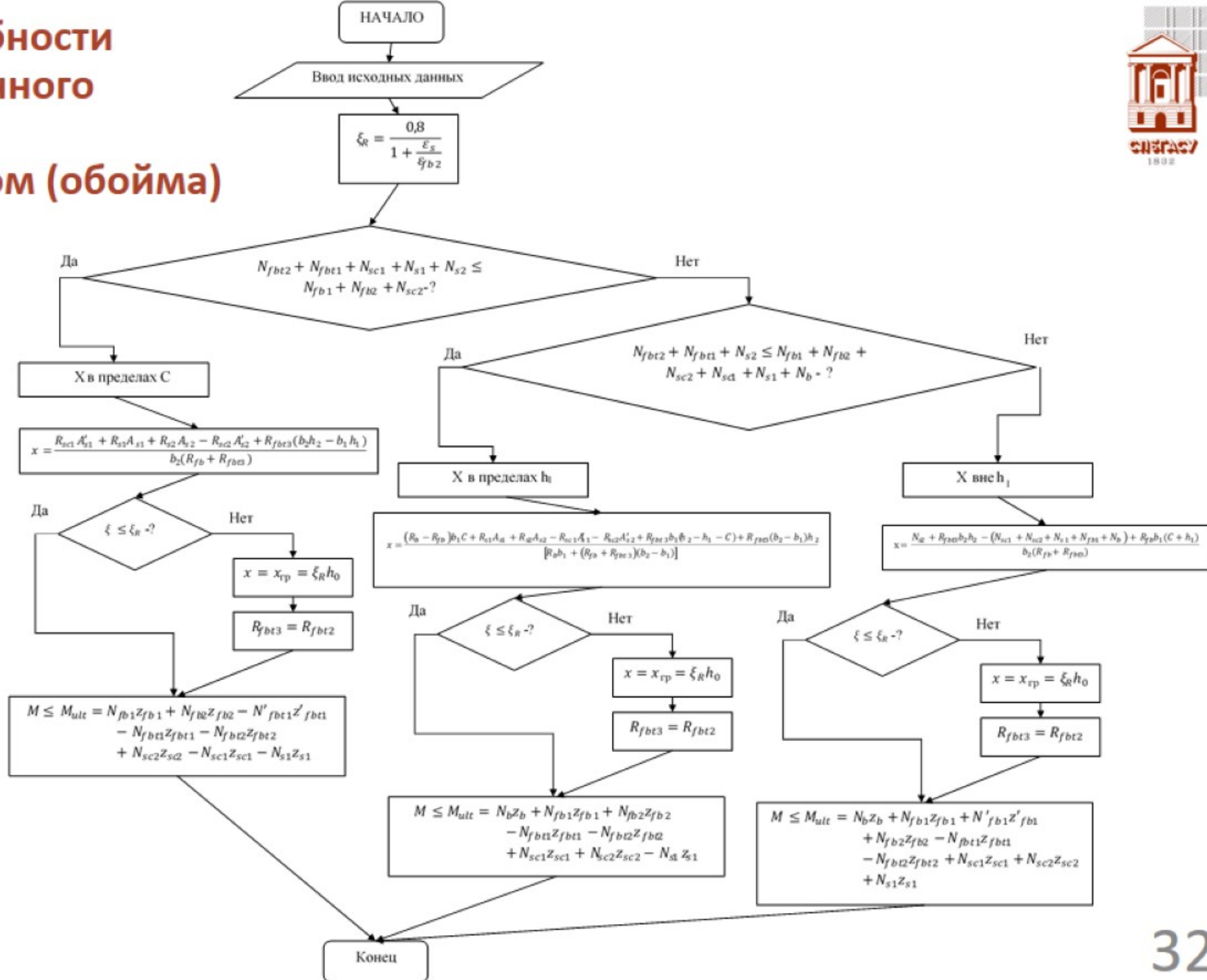
$z_{fb2} := 0.5h_2 - a_2 - 0.5x = 153.777 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести и растянутой сталефиброжелезобетонной части сечения (верхней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

Тогда, площадь растянутой арматуры:

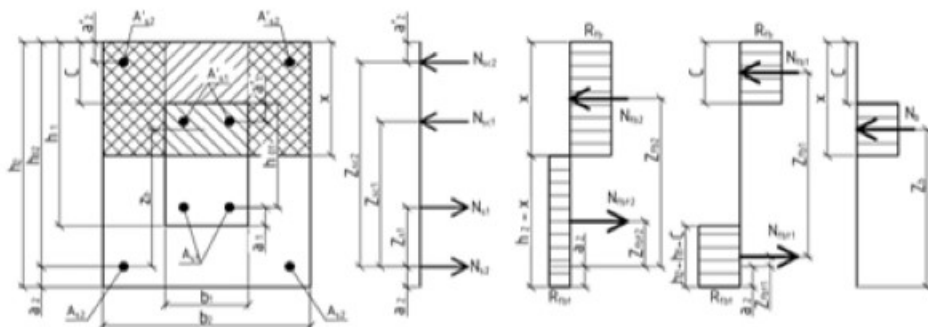
$$A_{s2} := \frac{1}{R_{s2}} \cdot [R_{fb} \cdot b_2 \cdot x - R_{sc1} \cdot A_{s1p} - R_{s1} \cdot A_{s1} + R_{fb3} \cdot b_2 \cdot (x - h_2) + R_{fb3} \cdot b_1 \cdot h_1]$$

$$A_{s2} = 541.707 \cdot \text{мм}^2$$

Проверка несущей способности изгибаемого железобетонного элемента, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



Автоматизированная программа проверки несущей способности изгибаемого железобетонного элемента прямоугольного профиля с двойным армированием, усиленного сталефиброжелезобетоном (обойма)



Обозначения

- $b_1 := 200\text{мм}$ - ширина сечения железобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $h_1 := 200\text{мм}$ - высота сечения железобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $b_2 := 400\text{мм}$ - ширина сечения фибросталежелезобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $h_2 := 400\text{мм}$ - высота сечения фибросталежелезобетонного элемента прямоугольного профиля;
- $c_c := 100\text{мм}$ - расстояние от сжатой грани фибросталежелезобетонной части сечения до сжатой грани железобетонной части сечения;
- Сюда вставить проверку на адекватность введенных данных!!!!*
- Также добавить автовыставку от класса бетона и арматуры*
- x - расчетная высота сжатой зоны железобетона (и фибросталежелезобетона);
- $R_{s1} := 400\text{МПа}$ - расчетное сопротивление растянутой арматуры железобетонной части сечения;
- $R_{sc1} := 400\text{МПа}$ - расчетное сопротивление сжатой арматуры железобетонной части сечения;
- $R_{s2} := 400\text{МПа}$ - расчетное сопротивление растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $R_{sc2} := 400\text{МПа}$ - расчетное сопротивление сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

- $R_b := 15.3\text{МПа}$ - расчетное сопротивление бетона сжатию;
- $R_{fb} := 133.8\text{МПа}$ - расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию;
- $R_{fbt} := 18.4\text{МПа}$ - расчетное сопротивление сталефибробетона растяжению;
- $A_{s1} := 200\text{мм}^2$ - площадь поперечного сечения растянутой арматуры железобетонной части сечения;
- $A_{s1p} := 200\text{мм}^2$ - площадь поперечного сечения сжатой арматуры железобетонной части сечения;
- $A_{s2} := 541.70\text{мм}^2$ - площадь поперечного сечения растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $A_{s2p} := 0\text{см}^2$ - площадь поперечного сечения сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;
- $a_1 := 25\text{мм}$ - расстояние от центра тяжести и растянутой арматуры железобетонной части сечения до растянутой грани железобетонной части сечения;
- $a_{1p} := 25\text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры железобетонной части сечения до сжатой грани железобетонной части;
- $a_2 := 25\text{мм}$ - расстояние от центра тяжести и растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения до растянутой грани фибросталежелезобетонной части сечения;
- $a_{2p} := 25\text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения до сжатой грани железобетонной части;
- $h_{01} := h_1 - a_1 = 175$ - мм - рабочая высота сечения железобетонного элемента прямоугольного профиля (расстояние от сжатой грани железобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры железобетонной части сечения);
- $h_{02} := h_2 - a_2 = 375$ - мм - рабочая высота сечения фибросталежелезобетонного элемента прямоугольного профиля (расстояние от сжатой грани фибросталежелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения);

I. Определим граничную относительную высоту сжатой зоны:

$$\epsilon_s := 0.0025$$

$$\epsilon_{fb2} := 0.0035$$

$$\omega :=$$

0.8
 0.7

0,8 в формуле для фибробетона из тяжелого бетона классов до В60 включительно; 0,7 для фибробетона из тяжелого бетона классов В70-В100 из мелкозернистого бетона

$$\epsilon_R := \frac{\omega}{1 + \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{fb2}}} = 0.467$$

II. Определим положение сжатой зоны:

II.1 Граница высоты сжатой зоны проходит в пределах высоты С:

Допустим, что $x := C$, тогда:

$N_{fb2} := R_{fb3} \cdot (b_2 - b_1) \cdot (h_2 - x) = 1.104 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия во 2 первой части фибросталебетона;

$N_{fb1} := R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_1 - C) = 368 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия в 1 первой части фибросталебетона (нижней части);

$N_{s1} := R_{s1} \cdot A_{s1} = 80 \cdot \text{кН}$ - усилия в растянутой арматуре железобетонной части сечения;

$N_{sc1} := R_{sc1} \cdot A_{s1p} = 80 \cdot \text{кН}$ - усилия в сжатой арматуре железобетонной части сечения;

$N_{s2} := R_{s2} \cdot A_{s2} = 216.683 \cdot \text{кН}$ - усилия в растянутой арматуре фибросталежелезобетонной части сечения;

$N_{sc2} := R_{sc2} \cdot A_{s2p} = 0 \cdot \text{кН}$ - усилия в сжатой арматуре фибросталежелезобетонной части сечения;

$N_{fb1} := R_{fb} \cdot b_1 \cdot x = 2.677 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия в 1 части (верхней) фибросталебетона;

$N_{fb2} := R_{fb} \cdot (b_2 - b_1) \cdot x = 2.677 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия во 2 части фибросталебетона;

Граница высоты сжатой зоны проходит в пределах высоты С (в пределах верхнего слоя фибросталебетона), если:

$$N_{fb2} + N_{fb1} + N_{sc1} + N_{s1} + N_{s2} < N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2}$$

$$N_{fb2} + N_{fb1} + N_{sc1} + N_{s1} + N_{s2} = 1.849 \times 10^3 \cdot \text{кН}$$

$$N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2} = 5.353 \times 10^3 \cdot \text{кН}$$

$$N_{fb2} + N_{fb1} + N_{sc1} + N_{s1} + N_{s2} - (N_{fb1} + N_{fb2} + N_{sc2}) = -3.505 \times 10^3 \cdot \text{кН}$$

Скрытые вычисления

Положение границы = "Граница высоты сжатой зоны проходит в пределах высоты С"

Если граница высоты сжатой зоны проходит в пределах высоты С - откройте пункт III.1

Если граница высоты сжатой зоны НЕ проходит в пределах высоты С - откройте пункт II.2

Скрытые вычисления

III.2 Граница высоты сжатой зоны проходит в пределах высоты усиливаемой балки

III. Определим высоту сжатой зоны х:

III.1. Определение X (X в пределах C)

III.1 Граница высоты сжатой зоны в пределах С

$N_{fb1} := R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_1 - C) = 368 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия в 1 первой части фибросталебетона (нижней части);

$N_{s1} := R_{s1} \cdot A_{s1} = 80 \cdot \text{кН}$ - усилия в растянутой арматуре железобетонной части сечения;

$N_{sc1} := R_{sc1} \cdot A_{s1p} = 80 \cdot \text{кН}$ - усилия в сжатой арматуре железобетонной части сечения;

$N_{s2} := R_{s2} \cdot A_{s2} = 216.683 \cdot \text{кН}$ - усилия в растянутой арматуре фибросталежелезобетонной части сечения;

$N_{sc2} := R_{sc2} \cdot A_{s2p} = 0 \cdot \text{кН}$ - усилия в сжатой арматуре фибросталежелезобетонной части сечения;

Вычислим расчетную высоту сжатой зоны железобетона (и фибросталежелезобетона):

$$\bar{x} := \frac{R_{sc1} \cdot A_{s1p} + R_{s1} \cdot A_{s1} + R_{s2} \cdot A_{s2} - R_{sc2} \cdot A_{s2p} + R_{fb3} \cdot (b_2 \cdot h_2 - b_1 \cdot h_1)}{b_2 \cdot (R_{fb} + R_{fb0})}$$

$$x = 42.447 \cdot \text{мм}$$

$$\xi := \frac{x}{h_{02}} = 0.113$$

$N_{fb1} := R_{fb} \cdot b_1 \cdot x = 1.136 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия в 1 части (верхней) фибросталебетона;

$N_{fb1p} := R_{fb3} \cdot b_1 \cdot (C - x) = 211.795 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия в 1 части (верхней) фибросталебетона;

$N_{fb2} := R_{fb3} \cdot (b_2 - b_1) \cdot (h_2 - x) = 1.316 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - растягивающие усилия во 2 первой части фибросталебетона;

$N_{fb2} := R_{fb} \cdot (b_2 - b_1) \cdot x = 1.136 \times 10^3 \cdot \text{кН}$ - сжимающие усилия во 2 части фибросталебетона;

Вычислим плечи для нахождения моментов:

$z_{fb1p} := h_{02} - x - 0.5 \cdot (C - x) = 303.776 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой сталефиброжелезобетонной части сечения (верхней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb1} := h_{02} - 0.5x = 353.776 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой 1

сталефиброжелезобетонной части сечения (верхней) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb2} := h_{02} - 0.5x = 353.776 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой 2

сталефиброжелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{sc1} := h_{02} - C - a_{1p} = 250 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры железобетонной части сечения до центра тяжести и растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{sc2} := h_{02} - a_{2p} = 350 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести сжатой арматуры

фибросталежелезобетонной части сечения до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{s1} := h_{02} - h_{01} - C = 100 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой арматуры железобетонной части сечения до центра тяжести и растянутой арматуры

фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb1} := 0.5(h_2 - h_1 - C) - a_2 = 25 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой

сталефиброжелезобетонной части сечения (нижней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

$z_{fb2} := 0.5h_2 - a_2 - 0.5x = 153.776 \cdot \text{мм}$ - расстояние от центра тяжести растянутой

сталефиброжелезобетонной части сечения (верхней части) до центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения;

IV. Проверяем условие:

$$\xi := \frac{x}{h_{02}} = 0.113$$

$$\xi_R = 0.467$$

Случай_разрушение := $\begin{cases} \text{"Кси} \leq \text{Кси R"} & \text{if } \xi \leq \xi_R \\ \text{"Кси} > \text{Кси R"} & \text{if } \xi > \xi_R \end{cases} = \text{"Кси} \leq \text{Кси R"}$

Если Кси \leq Кси R - откройте п. V.1.1

Если Кси $>$ Кси R - откройте п. V.1.2

При этом, если Кси $>$ Кси R - присутствует опасность хрупкого разрушения!!!

III.1. Определение X. (X в пределах C)

V.1.1 Кси \leq Кси R, x в C Проверка M \leq Mult

V.Условие прочности относительно центра тяжести растянутой арматуры фибросталежелезобетонной части сечения (уравнение равновесия моментов) в общем виде

V.1.1 Кси \leq Кси R, x в C

$$M \leq M_{ult}$$

$$M_{ult} := N_{fb1} \cdot z_{fb1} + N_{fb2} \cdot z_{fb2} - N_{fb1p} \cdot z_{fb1p} - N_{fb2p} \cdot z_{fb2p} - N_{sc1} \cdot z_{sc1} + N_{sc2} \cdot z_{sc2} - N_{s1} \cdot z_{s1} - N_{fb1p} \cdot z_{fb1p}$$

$$M_{ult} = 500 \cdot \text{кН} \cdot \text{м}$$

Прямая и обратная задача совпали, что говорит о правильности всех математических преобразований при выводе методики. Также были проверены оставшиеся случаи – прямая и обратная задачи для них также полностью совпали.

Вывод

- Разработан инженерный метод расчета изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля, усиленных сталефиброжелезобетоном (обойма).
- Данный метод может применяться при расчете усиления изгибаемых железобетонных конструкций.



Спасибо за внимание!