

Строительные конструкции - 1

Модуль 1

Железобетонные конструкции

7 лекция

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

7 лекция

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Виды изгибаемых элементов и их конструктивные особенности

Расчет прочности по нормальным сечениям

Виды изгибаемых элементов и их конструктивные особенности

Наиболее распространенные изгибаемые элементы железобетонных конструкций - плиты и балки.

Плитами называют плоские элементы, толщина которых h_1 значительно меньше длины l_1 и ширины b_1 .

Балками называют линейные элементы, длина которых l значительно больше поперечных размеров h и b .

Из плит и балок образуют многие железобетонные конструкции, чаще других — **плоские перекрытия и покрытия**, сборные и монолитные (рис. 1), а также сборно-монолитные.

Плиты и балки могут быть **однопролетными** и **многопролетными**.

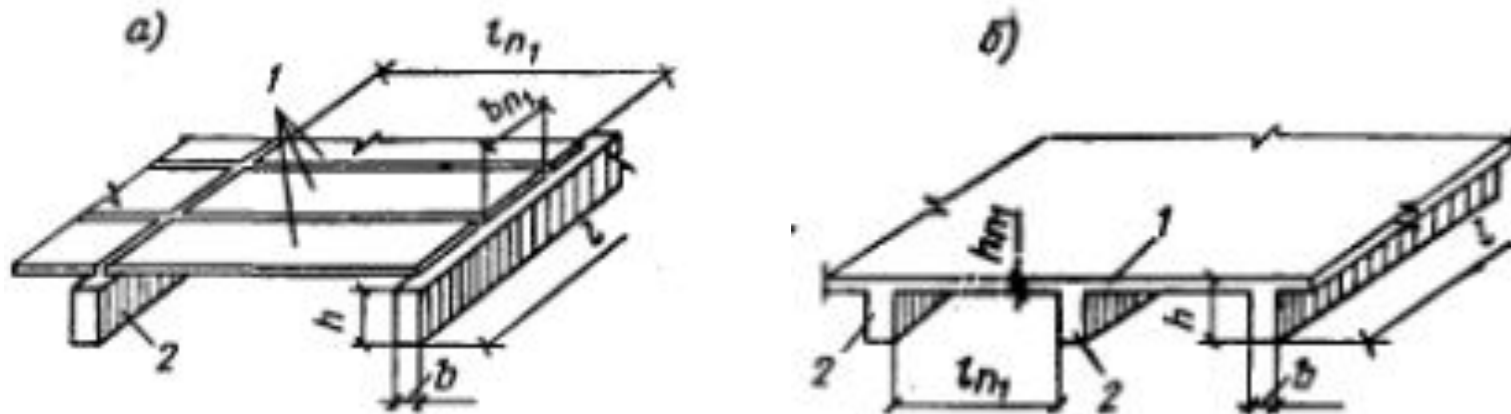


Рис.1. Схемы перекрытий из железобетонных элементов
а - сборное; б - монолитное; 1 - плиты; 2 - балки.

Плиты

Толщину плит назначают возможно меньшей, так как расход бетона на эти конструкции составляет значительную долю его общего расхода на сооружение.

Наименьшая толщина плиты должна удовлетворять требованиям прочности и жесткости.

Толщину **монолитных** плит принимают кратной 10 мм, но не менее:

для покрытий — 40 мм,

для междуэтажных перекрытий гражданских зданий — 50 мм

для междуэтажных перекрытий промышленных зданий — 60 мм.

Минимальная толщина **сборных** плит — 25...35 мм.

Плиты

Армируют плиты сварными сетками. Сетки располагают в соответствии с эпюрой изгибающих моментов со стороны растянутых волокон (см. рис. 2). Стержни рабочей арматуры принимают диаметром 3...12 мм, располагая их на участке с максимальным моментом, шагом 100... 200 мм, на остальных участках плиты шаг должен быть не более 400 мм.

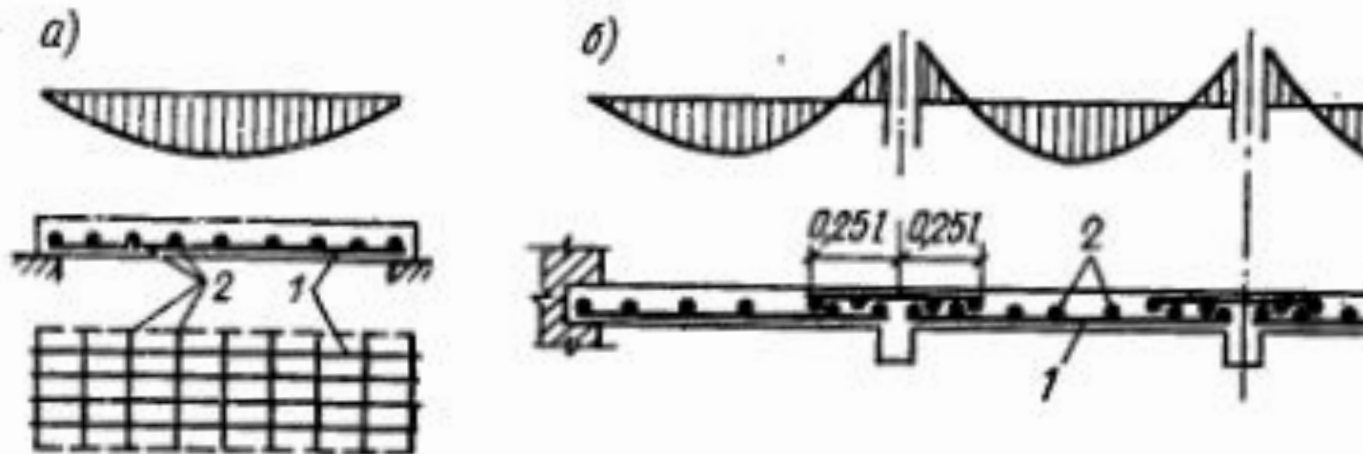


Рис.2. Армирование плит и эпюры моментов при равномерно распределенной нагрузке

a - однопролетная плита; *б* - многопролетная плита;

1 - стержни рабочей арматуры; 2- стержни распределительной арматуры

Балки

Железобетонные балки могут быть прямоугольного, таврового, двутаврового, трапециевидного сечения (рис. 3).

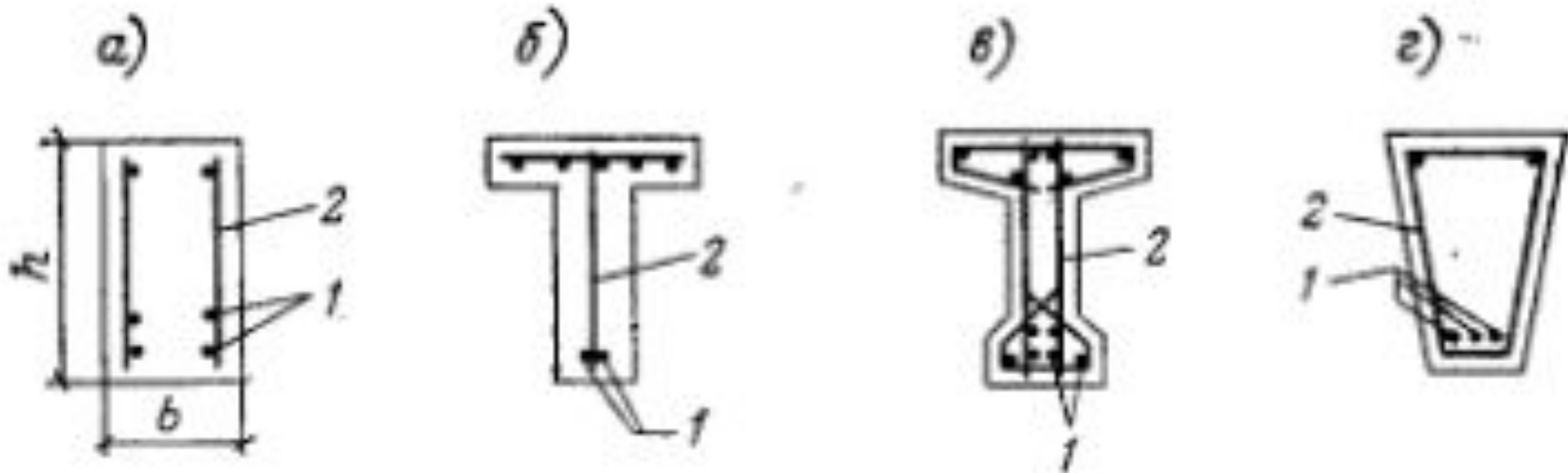


Рис.3. Формы поперечного сечения балок и схемы армирования
а-прямоугольная; *б*-тавровая; *в*-двутавровая; *г*-трапециевидная;
1 — продольные стержни; **2** — поперечная арматура

Балки

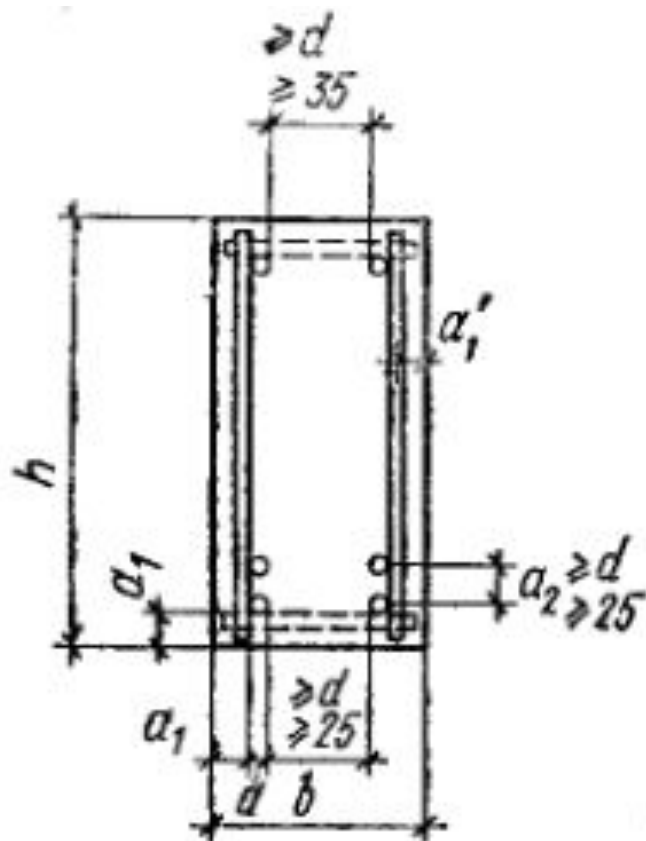
Высота балок h колеблется в широких пределах; она составляет 1/10-1/20 часть пролета в зависимости от нагрузки и типа конструкции.

В целях унификации высота балок назначается: **кратной 50 мм, если она не более 600 мм, кратной 100 мм при больших размерах**, из них предпочтительнее размеры, кратные 100 мм до высоты 800 мм, затем высоты 1000, 1200 мм и далее кратные 300.

Ширину прямоугольных поперечных сечений b принимают в пределах $(0,3—0,5)h$, а именно 100, 120, 150, 200, 220, 250 мм и далее кратной 50 мм, из них предпочтительнее размеры 150, 200 мм и далее кратные 100.

Для снижения расхода бетона ширину балок назначают наименьшей. В поперечном сечении балки рабочую арматуру размещают в растянутой зоне сечения в один или два ряда с такими зазорами, которые допускали бы плотную укладку бетона без пустот и каверн.

Требуемые размеры этих зазоров и защитных слоев показаны на рис.4.



$$a_1 \begin{cases} \geq 20 \text{ при } h \geq 250 \\ \geq 15 \text{ при } h < 250 \\ \geq d \end{cases}$$

Рис.4. Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Расчет прочности по нормальным сечениям

Трещины в балке

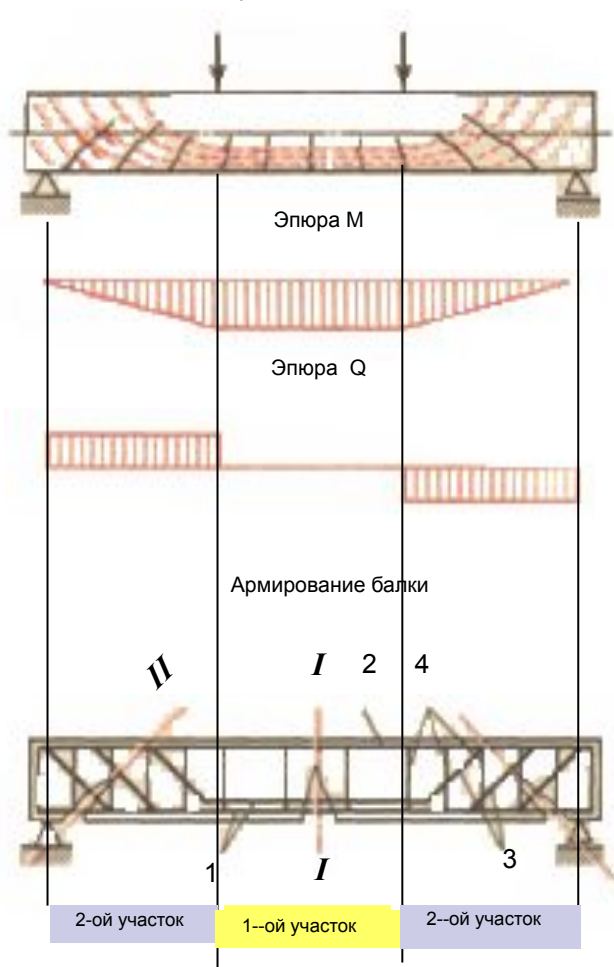


Рис.5

Рассмотрим для примера однопролетную железобетонную балку, свободно лежащую на двух опорах, симметрично нагруженную двумя сосредоточенными силами.

Участок балки между грузами находится в условиях **чистого изгиба**; в его пределах действует только изгибающий момент M , поперечная же сила равна нулю (рис. 5).

На определенной степени загрузки в бетоне растянутой зоны этого участка образуются **нормальные трещины**, т. е. направленные перпендикулярно продольной оси балки.

На участках между опорой и грузом действуют одновременно изгибающий момент M и поперечная сила Q . Здесь образуются **наклонные трещины**.

В соответствии с этим прочность изгибаемых элементов рассчитывают как по нормальным ($I-I$), так и по наклонным ($II-II$) сечениям.

Элементы прямоугольного сечения с одиночной арматурой.

Расчет изгибаемых элементов по нормальным сечениям производится по стадии III напряженно-деформированного состояния. Для получения расчетных зависимостей проведем в балке (рис.6) сечение, отбросим правую часть и заменим ее действие внутренними силами.

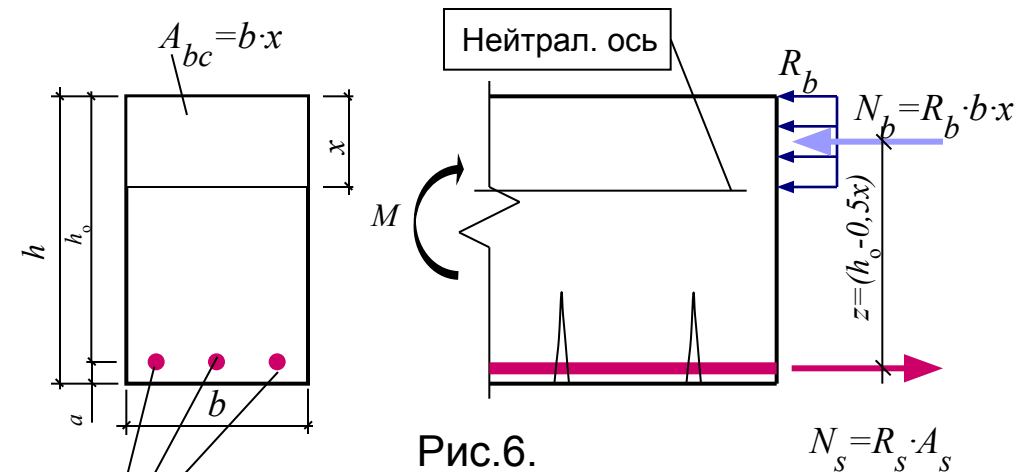


Рис.6.

b – ширина прямоугольного сечения;

h – высота прямоугольного сечения;

a – защитный слой;

x – высота сжатой зоны поперечного сечения;

h_0 – рабочая высота поперечного сечения;

A_{bc} – площадь сжатой зоны бетона;

A_s – площадь поперечного сечения рабочей арматуры;

N_b – равнодействующая сила сжатой зоны бетона;

N_s – равнодействующая сила растянутой арматуры;

z_b – плечо пары внутренних сил (расстояние от центра тяжести сжатой зоны бетона до центра тяжести растянутой арматуры)

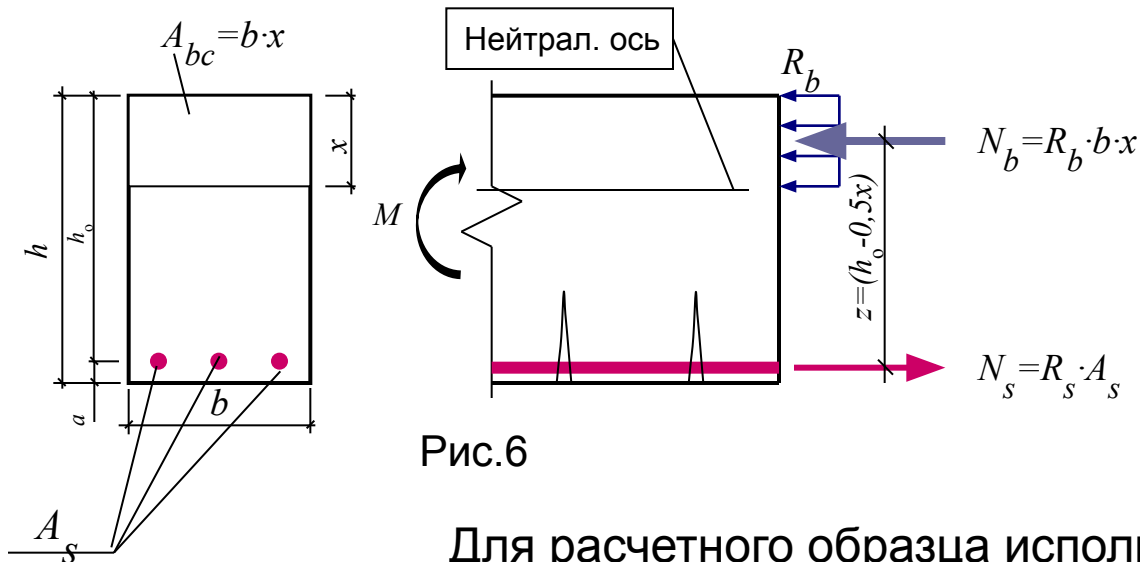
$$A_{bc} = b \cdot x$$

$$h_0 = h - a$$

$$z_b = (h_0 - 0,5x)$$

$$N_b = R_b \cdot A = R_b \cdot b \cdot x$$

$$N_s = R_s \cdot A_s$$



Для расчетного образца используем условия статики:

1) $\sum x=0$; равенство нулю суммы проекций всех сил на продольную ось элемента. В этом случае условие равновесия:

$$N_s - N_b = 0 \text{ или } N_s = N_b$$

$$R_s \cdot A_s = R_b \cdot b \cdot x \quad (1)$$

$$\text{Отсюда: } x = R_s \cdot A_s / R_b \cdot b \quad (2)$$

$$A_s = R_b \cdot b \cdot x / R_s \quad (3)$$

Если известны исходные параметры (*характеристики и размеры арматуры и бетона*) x - можно определить по формуле (2).

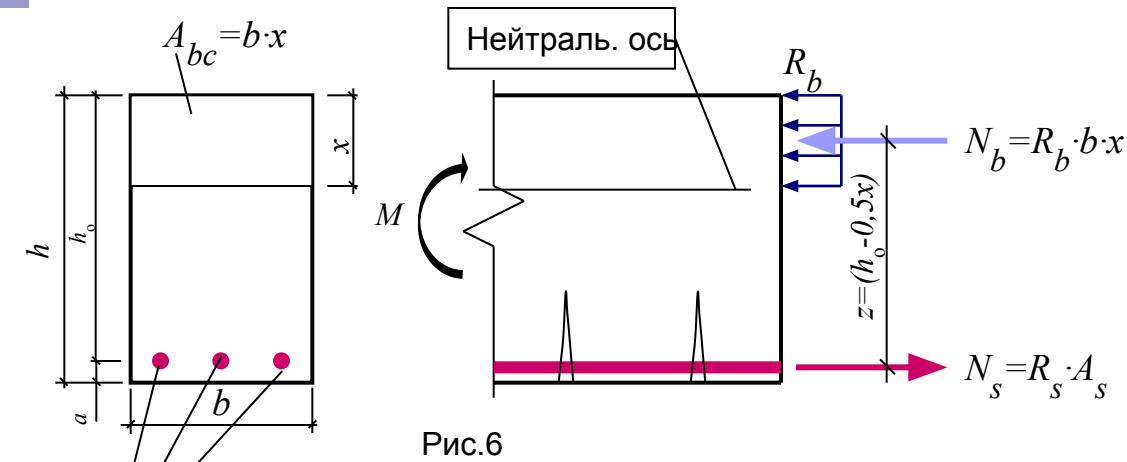


Рис.6

2) $\sum M_s = 0$; равенство нулю суммы моментов внутренних усилий относительно центра тяжести растянутой арматуры или относительно равнодействующей силы сжатой зоны бетона:

$$M - N_b \cdot z_b = 0 \quad M_{\text{несущ}} = N_b \cdot z_b = R_b \cdot b \cdot x (h_0 - 0,5x) \quad (4)$$

$$\sum M_b = 0; \quad M - N_s \cdot z_b = 0 \quad M_{\text{несущ}} = N_s \cdot z_b = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5x) \quad (5)$$

Условие прочности. Прочность сечения элемента **будет обеспечена**, если **расчетный момент от внешней нагрузки не превысит несущей способности** поперечного сечения:

$$M \leq M_{\text{несущ}} = N_b \cdot z_b = R_b \cdot b \cdot x (h_0 - 0,5x) \quad (6) \quad \text{по бетону}$$

$$M \leq M_{\text{несущ}} = N_s \cdot z_b = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5x) \quad (7) \quad \text{по арматуре}$$

Разделим обе части формулы (2) на h_0 :

$$x/h = (R \cdot A_s) / (R_b \cdot b \cdot h)$$

и обозначив $x/h_0 = \xi$ (**относительная высота сжатой зоны бетона**)

$$A_s / (b \cdot h_0) = \mu \text{ (коэффициент армирования)}$$

$$\text{отсюда } \xi = x/h_0 = (R_s / R_b) \cdot \mu :$$

$$\mu = \xi (R_b / R_s) \quad (8)$$

Используя ξ_R - предельное значение ξ можно определить предельное значение коэффициента армирования, т.е:

$$\mu_R = \xi_R (R_b / R_s) \quad (9)$$

Численное значение этой величины очень мала, поэтому удобно пользоваться процентом армирования:

$$\begin{aligned} \mu_{\%} &= 100 \xi (R_b / R_s) \\ \mu_{R\%} &= 100 \xi_R (R_b / R_s) \end{aligned} \quad (10)$$

В реальных условиях стоимость железобетонных элементов близка к оптимальной при значениях:

$$\text{для балок: } \mu = 1 \dots 2 \% ; \quad \xi = 0,3 \dots 0,4$$

$$\text{для плит: } \mu = 0,3 \dots 0,6 \% ; \quad \xi = 0,1 \dots 0,15$$

где ξ_R - граничное значение относительной высоты сжатой зоны, которое определяется по эмпирической формуле:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1} \right)}$$

Здесь σ_{SR} – напряжение в арматуре.

Для ненапряженной арматуры классов А-I, А-II, А-III, Вр-I $\sigma_{SR} = R_S$

Для предварительно напряженной арматуры классов А-IV и выше

$\sigma_{SR} = R_S + 400 - \sigma_{SP} - \Delta\sigma_{SP}$, где $\Delta\sigma_{SP}$ - коэффициент, зависящий от класса арматуры и способов натяжения

Для арматуры классов В-II, Вр-II, К-7, К-19 $\sigma_{SR} = R_S + 400 - \sigma_{SP}$;

$\sigma_{sc,u}$ - предельное напряжение в сжатой арматуре, равное 400 МПа при

$\gamma_{b2} \geq 1$ и $\sigma_{sc,u} = 500$ МПа при $\gamma_{b2} < 1$;

ω - характеристика деформативных свойств сжатой зоны бетона:

$$\omega = \alpha - 0,008R_b$$

где $\sigma = 0,85$ для тяжёлого бетона; $\sigma = 0,8$ для мелкозернистого и лёгкого бетона