Основная идея расчета по первому предельному состоянию:

$$\boxed{N \leq \Phi}$$

N – расчетное усилие в сечении при самой невыгодной комбинации расчетных нагрузок;

Φ – наименьшая несущая способность сечения элемента, подвергающегося сжатию, растяжению или изгибу.

$$\boxed{N = N_n * \gamma_f}$$

N_n – нормативная нагрузка (усилие);

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке.

$$\boxed{N = N \quad * \gamma_n}$$

γ_n – коэффициент надежности по отвенности здания.

Значение коэффициента зависит от уровня ответственности зданий и сооружений (ГОСТ 2751-88).

I - повышенный (здания, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным или экологическим последствиям), $\gamma_n > 0{,}95$ и $\gamma_n \le 1{,}2$;

II – нормальный (жилые, общественные, производственные здания) $\gamma_n = 0{,}95$;

III – пониженный (сооружения сезонного или вспомогательного назначения – парники, теплицы, склады) $\gamma_n < 0{,}95$ и $\gamma_n \ge 0{,}8$.

Наименьшая возможная несущая способность сечения элемента (Ф) зависит от материала и геометрических факторов сечения.

Ф = {R;A}

R – расчетное сопротивление материала.

A – геометрический фактор (площадь поперечного сечения, момент сопротивления при изгибе и тд.)

$R = R_n \gamma_c / \gamma_n$

γ_c - коэффициент условий работы материала (может быть больше и меньше 1)

II группа предельных состояний

Цель – обеспечить нормальную эксплуатацию строительных конструкций в целом.

Предельное состояние II группы не наступит тогда, когда будет выполнено условие:

$$\boxed{f \le f_n}$$

f - определенная расчетом деформация конструкции (перемещение, угол поворота конструкции и т.д.). Для изгибаемых элементов –прогиб, для стержневых систем – удлинение или укорочение, для оснований – величина просадки.

f_n - предельная деформация конструкции (СП)

Этот метод расчета исторически сформировался первым; в нем за основу взята стадия II НДС и приняты следующие ***допущения***:

1. напряжения в бетоне растянутой зоны принимают равными нулю;

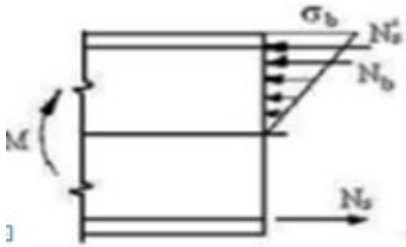
2. бетон сжатой зоны деформируется упруго, а зависимость между напряжениями и деформациями линейная согласно закону Гука;

3. нормальные к продольной оси сечения плоские до изгиба остаются плоскими после изгиба, т.е. выполняется гипотеза плоских сечений;

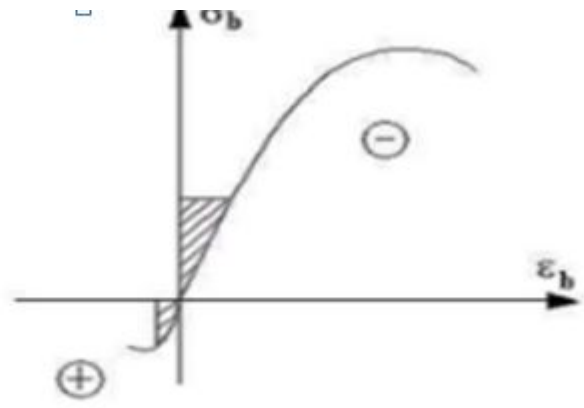
4. напряжения в бетоне и арматуре ограничиваются допускаемыми напряжениями:

$$\sigma_{bi} \le [\sigma_b];$$

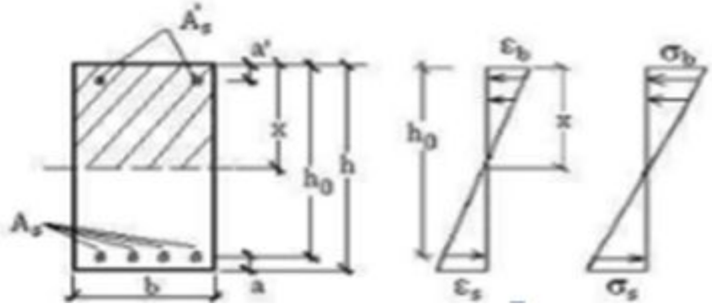
$$\sigma_{si} \le [\sigma_s]$$



σb
N's
Nb
M
Ns



σb
εb



A's
a'
x
h0
h
As
b
a
εb
εs
σb
σs

Как следствие этих допущений, в бетоне сжатой зоны принимается треугольная эпюра напряжений и постоянное значение отношения модулей упругости материалов $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$.

$$\varepsilon_s = \varepsilon_b;$$

$$\frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{\sigma_b}{E_b}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s;$$

$$\sigma_b = E_b \cdot \varepsilon_b$$

В соответствии с подобием треугольников, изображенных на рис. 5.1:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b} = \frac{h_0 - x}{x}; \Rightarrow \varepsilon_s = \frac{h_0 - x}{x} \cdot \varepsilon_b$$

$$\frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{h_0 - x}{x} \cdot \frac{\sigma_b}{E_b};$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b};$$

$$\sigma_s = \frac{h_0 - x}{x} \cdot \alpha \cdot \sigma_b$$

Краевое напряжение в бетоне определяется как для приведенного однородного сечения:

$$\sigma_b = \frac{M \cdot x}{I_{red}}$$

Напряжения в растянутой и сжатой арматурах:

$$\sigma_s = \frac{\alpha \cdot M \cdot (h_0 - x)}{I_{red}} \qquad \sigma_s' = \frac{\alpha \cdot M \cdot (x - a')}{I_{red}}$$

Момент инерции приведенного сечения равен:

$$I_{red} = \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha \cdot A_s \cdot (h_0 - x)^2 + \alpha \cdot A_s' \cdot (x - a')^2$$

Статический момент приведенного сечения равен нулю:

$$S_{red} = \frac{b \cdot x^2}{2} - \alpha \cdot A_s \cdot (h_0 - x) + \alpha \cdot A_s' \cdot (x - a') = 0$$

Напряжения в бетоне и арматуре ограничиваются допускаемыми напряжениями, которые устанавливаются как некоторые доли временного сопротивления бетона сжатию и предела текучести арматуры:

$$[\sigma_b] \approx 0{,}45 \div 0{,}5 R_b;$$

$$[\sigma_s] \approx 0{,}4 \div 0{,}5 R_s$$

2. Гипотеза о предельном равновесии

В 1933 году А. Ф. Лоллейт выдвинул гипотезу предельного равновесия и отказался от кинетической гипотезы.

Постулаты гипотезы предельного равновесия:

1. Перед разрушением сечение железобетонных конструкций находится в равновесии.

2. Перед разрушением материал конструкции находится в предельном состоянии.

3. Напряжения в бетоне растянутой зоны принимают равными нулю.

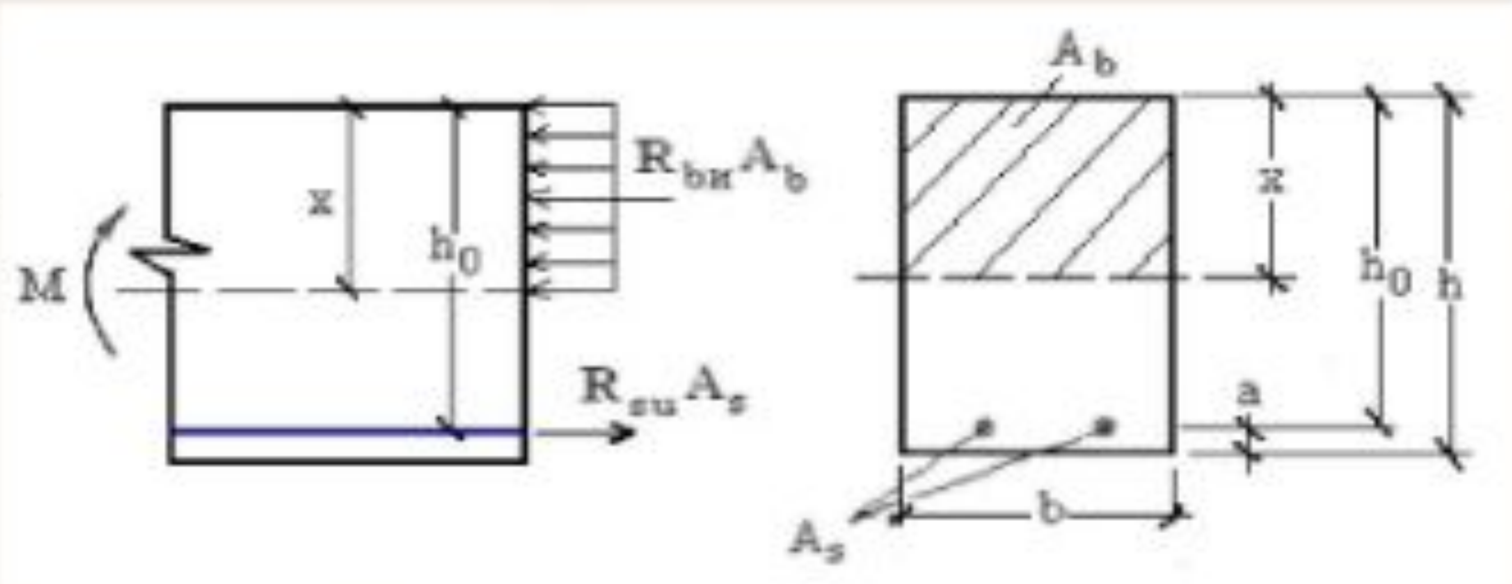


Рис. 5.2. Гипотеза о предельном равновесии

$$\sum x = 0 \qquad R_{bII} \cdot A_b = R_{su} \cdot A_s;$$

$$\sum M = 0 \qquad M - R_{bII} \cdot A_b \cdot (h_0 - \frac{x}{2}) = 0$$

$z_b = h_0 - \dfrac{x}{2}$ – плечо внутренней пары сил.

3. Метод расчета сечений по разрушающим усилиям

Этот метод был разработан в 1935-1938 гг.

Основные гипотезы:

1. Метод расчета сечений исходит из стадии III НДС при изгибе.

2. Напряжения в бетоне растянутой зоны принимают равными нулю;

3. В основу положена гипотеза о предельном равновесии.

4. В расчетные формулы вместо допускаемых напряжений вводят предел прочности бетона при сжатии и предел текучести арматуры.

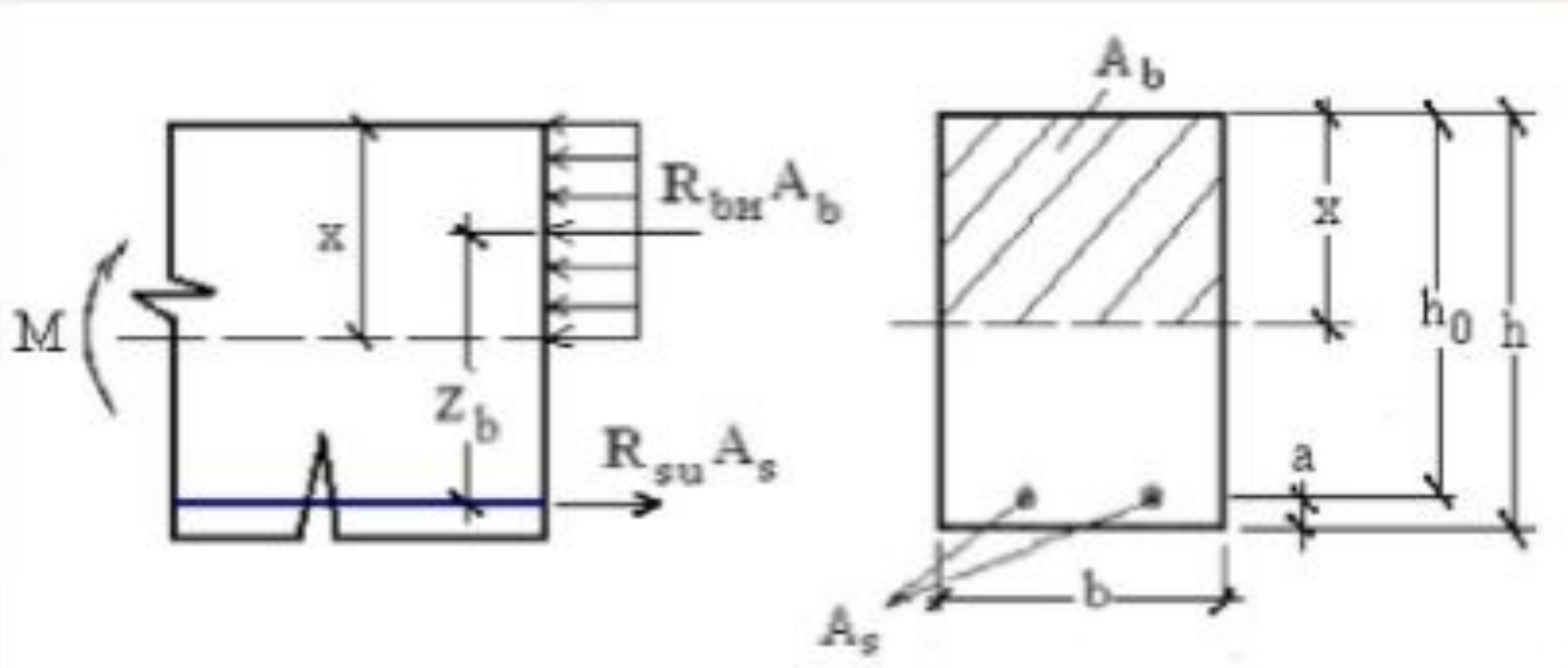


Рис. 5.3. К расчету балки по разрушающим усилиям

Достоинства:

Данный метод, учитывающий упругопластические свойства железобетона, более правильно отражает действительную деформирование сечений конструкций под нагрузкой.

При расчете по разрушающим усилиям в ряде случаев получается меньший расход арматурной стали по сравнению с расходом стали по методу допускаемых напряжений.

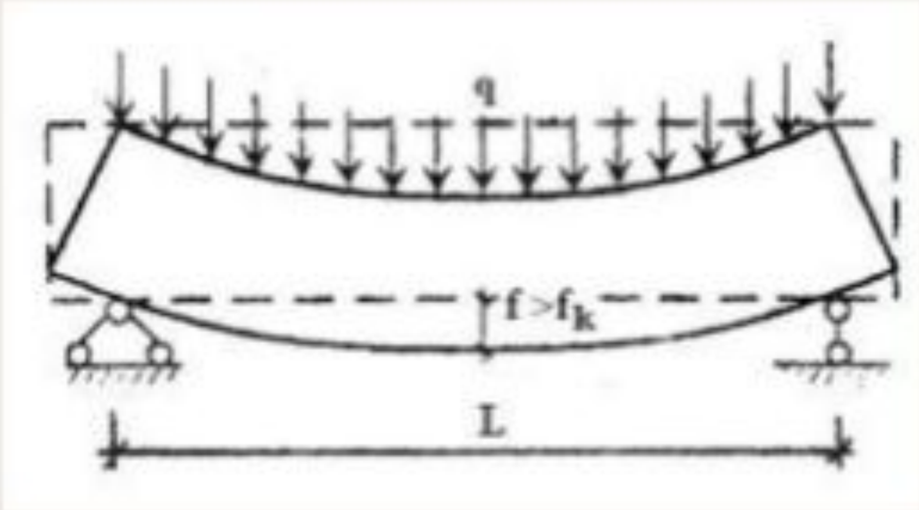
Недостатки:

1. *Не охвачена жесткость и трещиностойкость конструкций.*
2. *Коэффициент запаса складывается из разных коэффициентов*

$$K_з = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \ldots \cdot K_n;$$

4. Метод расчета сечений по предельным состояниям

Предельное состояние – это состояние конструкции, при наступлении которого конструкция перестает удовлетворять предъявленным к ней требованиям, т.е. теряет способность сопротивляться внешним нагрузкам и воздействиям или получает недопустимые значения деформаций или трещиностойкости.



5. Коэффициенты надежности метода расчета сечений по предельным состояниям

I группа – степень ответственности зданий и сооружений.

Эта группа определяется размером материального и социального ущерба при их преждевременном разрушении.

1 класс $\gamma_n = 1{,}0$ – здания и сооружения, разрушения которых приводит к очень серьезным последствиям (Чернобыльская АЭС, плотины, ГЭС, ТЭС);

2 класс $\gamma_n = 0{,}95$ – здания и сооружения, не входящие в 1 и 3 классы.

3 класс $\gamma_n = 0{,}9$ – различные склады, одноэтажные жилые дома, временные здания и сооружения.

II группа – нагрузки и воздействия.

III группа – сопротивление материалов.

IV группа – условия изготовления и эксплуатации конструкций.

Для бетона существуют 12 коэффициентов условий работы (см. СНиП 2.03.01-84*, табл. 15).

Например, γ_{b1} – коэффициент, учитывающий многократно повторяющуюся нагрузку;

γ_{b2} – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки и условия твердения.

Значения коэффициента надежности по бетону при сжатии по СП 52-101-03 принимают равными:

1,3 - для предельных состояний по несущей способности (первая группа);

1,0 - для предельных состояний по эксплуатационной пригодности (вторая группа).

В необходимых случаях расчетные значения прочностных характеристик бетона умножают на коэффициенты условий работы g_{bi} по п.2.1.2.3.

В нормативных документах R_b – это предел кратковременной прочности без учета γ_{b2}, поэтому в расчетах учитывают $\gamma_{b2} \cdot R_b$.

$$\gamma_{b2} \begin{array}{l} = 0{,}9 \text{ – длительная прочность;} \\ = 1{,}0 \text{ – твердение под водой;} \\ = 1{,}1 \text{ –монтаж конструкций.} \end{array}$$

Для арматуры существуют 9 коэффициентов условий работы (см. СНиП 2.03.01-84*, табл. 24*).

Например, γ_{s6} – коэффициент, учитывающий деформации напрягаемой арматуры выше предела текучести.

По СП 52-101-03 значение коэффициента надежности по арматуре γ_s принимают равным:

для предельных состояний первой группы:

1,1 - для арматуры классов А240, А300 и А400;

1,15 – для арматуры класса А500;

1,2 - для арматуры класса В500;

для предельных состояний второй группы γ_s =1,0.