

Лекція 3. Методи розрахунку ЗБК

П л а н

Методи розрахунків.

Стадії напружено-деформованого стану залізобетонного елемента.

3.1. Методи розрахунків

Повернемося до історії розвитку залізобетону.

В кінці минулого сторіччя, коли залізобетон як матеріал почали застосовувати у будівництві, постало питання розрахунків будівельних конструкцій. Тоді німецький інженер Геннебік запропонував метод розрахунків за допустимими напруженнями, який повністю використовував закони опору матеріалів та сприймає залізобетон як пружний матеріал.

Цим методом користувались до 1936 року.

У 1932 році радянський професор Лоллейт запропонував метод розрахунків залізобетонних елементів за руйнівними зусиллями.

За основу було прийнято, що бетон - пластичний матеріал; розрахунок вівся із стадії зруйнування залізобетону, але вживався один коефіцієнт запасу міцності, за навантаженням і за роботою бетону та сталі, що, звичайно, не відображало дійсності, але вже було дуже близько до неї.

В 1956 році радянський професор Гвоздєв запропонував новий метод розрахунку залізобетону за граничними станами. Вводиться дві групи граничного стану залізобетонного елемента:

перша група – за несучою здатністю або міцністю;

друга група – за придатністю до нормальної експлуатації, тобто за деформативністю та тріщинотворенням.

Розрахунок за граничними станами конструкції у цілому, а також окремих її елементів або частин слід виконувати для всіх етапів: виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації:

Метод розрахунку за граничними станами базується на передумовах методу розрахунку за руйнівними силами:

а) відмова від гіпотези плоских перерізів і закону Гука, тобто сприйняття бетону як непружного матеріалу;

б) міцність перерізу визначають за стадією руйнування елемента, а безпечність роботи конструкції під навантаженням оцінюється не одним синтезуючим коефіцієнтом запасу, а коефіцієнтами надійності бетону, сталі та навантаження;

в) епюра стиснутих напружень у бетоні приймається прямокутна, у якій ордината дорівнює розрахунковій міцності бетону;

г) всі зусилля розтягу сприймаються розтягнутою арматурою.

3.2. Стадії напружено-деформованого стану залізобетону

Досліди з різними залізобетонними елементами – згинальними, позацентрово розтягнутими, позацентрово стиснутими з двозначною епюрою напруження – показали, що при постійному збільшенні зовнішнього навантаження можна спостерігати три характерні стадії напружено-деформованого стану залізобетону (рис.6):

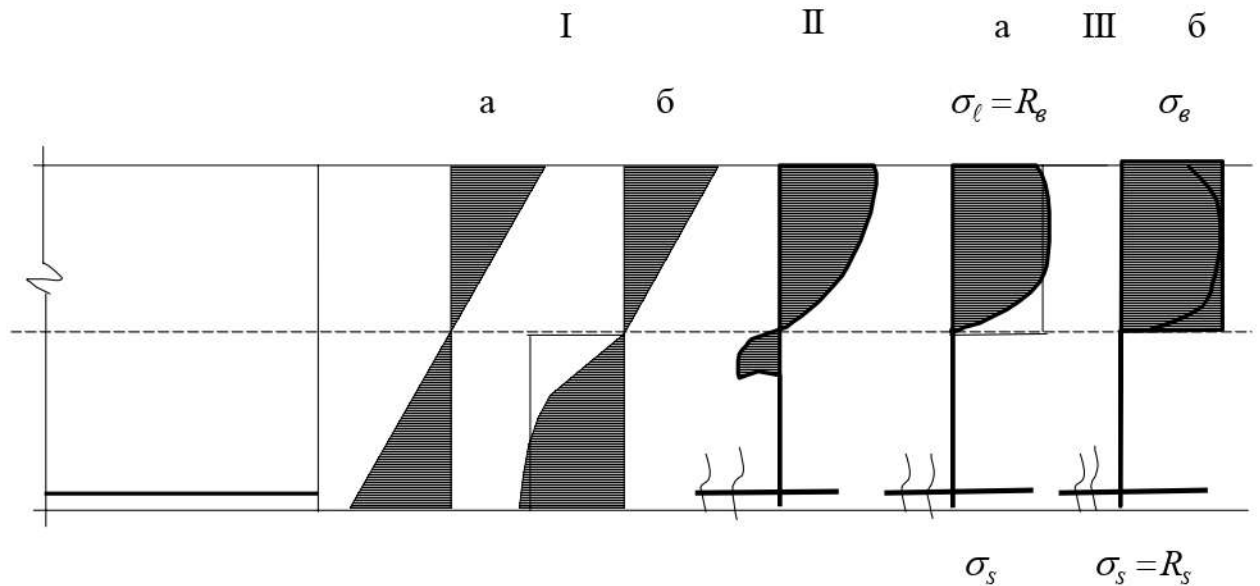


Рис.6. Стадії напружено-деформованого стану зігнутої балки

Стадія I – до виникнення тріщин в бетоні розтягнутої зони, коли напруження у бетоні менше тимчасового опору розтягу, а розтягувальні зусилля сприймаються арматурою та бетоном разом.

Стадія II – після виникнення тріщин у бетоні розтягнутої зони, коли розтягувальні зусилля у місцях, де виникли тріщини, сприймаються арматурою за участю бетону над тріщиною, а на ділянках між тріщинами – арматурою та бетоном разом. З подальшим збільшенням навантаження на елемент у бетоні стиснутої зони розвиваються пластичні деформації, еюра нормальних напружень викривляється, а ордината максимального напруження зміщується з краю перерізу до його глибини. Кінець стадії II характеризується початком пластичних деформацій у арматурі та бетоні.

Стадія III або стадія руйнування з подальшим збільшенням у стержньовій арматурі досягається фізичної або умовної границі текучості; напруження у бетоні стиснутої зони під впливом збільшення прогину елемента та зменшення висоти стиснутої зони також досягають тимчасового опору стиску. Руйнування залізобетонного елемента починається з арматури розтягнутої зони та закінчується роздавленням бетону стиснутої зони. Таке

руйнування носить пластичний характер і його називають випадком 1 (на рис. 6 - "б").

У елементах з надмірним складом розтягнутої арматури - переармованих – руйнування відбувається по бетону стиснутої зони, перехід із стану II у стан III відбувається раптово. Це випадок 2 (рис. 6 - "а"). Ненапружена арматура стиснутої зони перерізу у стадії III витримує стиснуті напруження.

Перерізи по довжині залізобетонного елемента мають різні стадії напружено-деформованого стану і залежать від епюри згинального моменту.

Розрахунок залізобетонного елемента з одиночною арматурою за міцністю

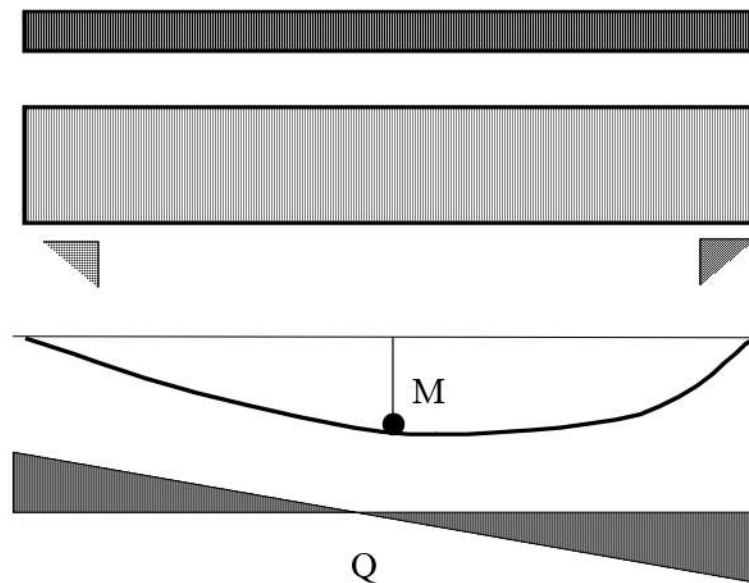


Рис.7. Схеми тріщин від діючого навантаження

Розглянемо для прикладу однопрогінну залізобетонну балку, навантажену рівномірно розподіленим навантаженням. На ділянках між опорами діють одночасно згинальний момент M та перерізуюча сила Q .

Отже, міцність зігнутого елемента розраховують як за нормальним перерізом (по M) так і за похилим перерізом (по Q) – рис.7.

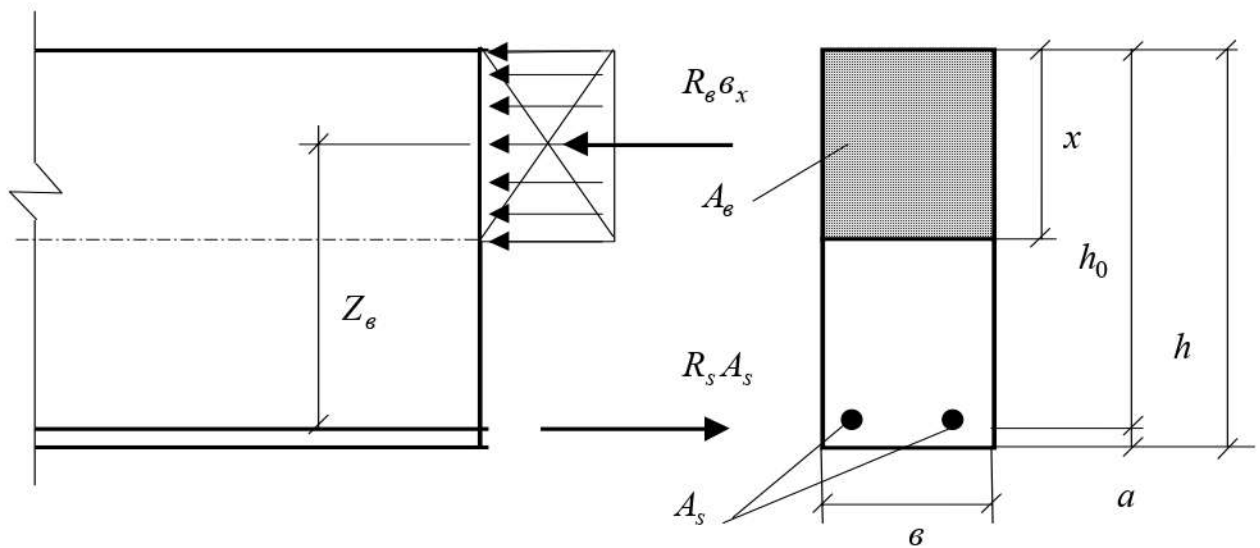


Рис. 8. Схема зусиль при розрахунку міцності елемента з одиночною арматурою

Для визначення внутрішніх зусиль в бетоні та арматурі запишемо класичну формулу

$$\sigma = \frac{N}{A}, \text{ тоді } N = \sigma A,$$

при цьому в стадії руйнування напруження у матеріалі наближається до своєї розрахункової величини, $\sigma \rightarrow R$.

За розрахунковою схемою зусиль вважається, що на елемент діє згинальний момент M , який обчислюється при розрахункових навантаженнях, а в арматурі та бетоні стиснутої зони діють внутрішні зусилля, які обчислюють при напруженнях, що дорівнюють розрахунковому опору бетону $R_e \sigma_x$. У розтягнутій зоні елемента ставиться арматура A_s , яка сприймає зусилля розтягу $R_s A_s$.

Визначаємо робочу висоту перерізу

$$a = h_{з,ш} + 0,5 d,$$

$h_{з,ш}$ – захисний шар бетону - береться згідно конструктивними вимогами;

d - діаметр робочої арматури – взяти найбільш розповсюджений для даного типу елемента;

тоді: $h_0 = h - a$;

x - висота стиснутої зони елемента.

Визначаємо плече внутрішньої пари сил як відстань між центрами ваги розтягнутої арматури та епюри стиснутого бетону

$$Z_e = h_0 - \frac{X}{2},$$

Умова міцності перерізу. Міцність елемента достатня, якщо зовнішній розрахунковий згинальний момент не перевищує розрахункової несучої здатності перерізу, яка відображається у вигляді протилежно спрямованого моменту внутрішніх сил.

$$M \leq R_e bX \left(h_o - \frac{X}{2} \right),$$

$$M \leq R_s A_s \left(h_o - \frac{X}{2} \right).$$

Умова рівноваги внутрішніх зусиль

$$R_e bX = R_s A_s,$$

тобто руйнування елемента відбувається одночасно по розтягнутій арматурі та стиснутому бетону.

З цієї умови можна обчислити значення висоти стиснутої зони X

$$X = \frac{R_s A_s}{R_e b}.$$

Розрахунок залізобетонного елемента зводиться до обчислення площі робочої арматури у розтягнутій зоні. Щоб одержати цю площу, необхідно розв'язати два рівняння з двома невідомими за законами математики. Підставимо значення X в умову міцності, з цієї умови обчислюємо A_s .

Для спрощення розрахунків можна користуватися табличними методами. Для цього, замість висоти стиснутої зони, скористуємося відносною висотою

стиснутої зони $\frac{X}{h_o} = \frac{R_s A_s}{R_e b h_o} = \xi$, $X = \xi h_o$.

Підставимо в умову міцності, замість X , його значення через ξ

$$M = R_e b \xi h_o \left(h_o - \frac{\xi h_o}{2} \right),$$

$$M = R_e b \xi h_o^2 (1 - 0,5 \xi).$$

Позначимо:

$$A_o = \xi (1 - 0,5 \xi),$$

тоді

$$M = R_e b \xi h_o^2 A_o$$

Можна обчислити A_o через відомі фізичні параметри:

$$A_o = \frac{M}{R_e b h_o^2}.$$

За таблицями визначимо через $A_o \rightarrow \xi \rightarrow \eta$.

Тоді

$$M = R_s A_s (h_o - \frac{h_o \xi}{2}),$$

$$M = R_s A_s h_o (1 - 0,5\xi).$$

Якщо прийняти $\eta = (1 - 0,5\xi)$, можна записати

$$M = R_s A_s h_o \eta, \quad \text{звідси} \quad A_o = \frac{M}{R_s h_o \eta}.$$

За умови рівноваги внутрішніх зусиль

$$R_b \sigma h_o \xi = R_s A_s,$$

обчислимо

$$A_s = \frac{R_b \sigma h_o \xi}{R_s},$$

$$\xi = \frac{R_s}{R_b A_s} \mu_s,$$

де

$$\mu_s = \frac{A_s}{\sigma h_o} ; \quad \mu\% = 100\mu.$$

З аналізу можна зробити висновок, що міцність перерізу може бути забезпечена при різних “ σ ” та “ h ” та кількості арматури у ньому. В реальних умовах вартість залізобетонних елементів близька до оптимальної при значеннях:

$$\begin{array}{ll} \mu = 1...2\%, & \xi = 0,3...0,4 \quad \text{- для балок;} \\ \mu = 0,3...0,6\%, & \xi = 0,1...0,15 \quad \text{- для плит.} \end{array}$$

Розміри перерізу “ σ ” та “ h ” задаємо або їх підбирають у такій послідовності: задаємо ширину перерізу “ σ ” та “ h ” рекомендоване значення коефіцієнта ξ , знаходимо значення A_o

$$\text{Тоді за залежністю} \quad h_o = \sqrt{\frac{M}{A_o \sigma R_b}}$$

обчислюємо $h = h_o + a$ та призначаємо уніфіковані розміри.

Визначенням площі робочої розтягнутої арматури розрахунок не закінчується. Для конструювання необхідно за визначеною площею, користуючись таблицями, одержати кількість стержнів та їх діаметр у декількох варіантах.

З точки зору зчеплення арматури з бетоном та найбільш рівномірного розподілу по перерізу напруження найоптимальнішим буде велика кількість

стрижнів малого діаметра. Але слід витримувати і конструктивні вимоги до діаметра арматури при конструюванні того чи іншого елемента.

Наступним етапом є конструювання елемента, тобто розподіл арматури по поперечному перерізу. Розподіл арматури в один ряд найбільш точно відповідає прийнятому за розрахунком. Другий ряд автоматично збільшує величину "а" та зменшує h_0 , але допускається з деякою похибкою. Третій або четвертий ряди похибку збільшують до недопустимої величини.

Конструювання залізобетонного елемента виконується з дотриманням конструктивних вимог.

Запитання для самоперевірки

1. Які передумови для розрахунку за допустимими напруженнями?
2. Які передумови для розрахунків за граничними етапами?
3. Які граничні стани ви знаєте?
4. Намалювати три стадії напружено-деформованого стану.
5. З якої стадії ведеться розрахунок залізобетонного елемента?
6. Як записати умову міцності прямокутного залізобетонного елемента з одиночною арматурою?
7. Як записати умову рівноваги внутрішніх зусиль та що це означає?
8. Що таке відносна висота стиснутої зони?
9. До чого зводиться розрахунок залізобетонного елемента?
10. Які вимоги існують при конструюванні залізобетонного елемента?