

# ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ, БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

УДК 624.01

## ОБЕРТАЛЬНИЙ ЕФЕКТ СИЛ В ТОЧКАХ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕРІЗУ

М.Г.ЧЕКАНОВИЧ – к.т.н., в.о. професора, Херсонський ДАУ

Головним нормативним документом для інженерних розрахунків залізобетонних конструкцій на сьогодні залишається БНіП 2.03.01-84. Розрахунки міцності базуються на розгляді напруженого стану конструкції перед самим її руйнуванням. Виходячи з методу граничної рівноваги, складають рівняння проєкцій сил і рівняння моментів. Оскільки конструкція знаходиться в стані рівноваги, то сума внутрішніх і зовнішніх зусиль дорівнює нулю.

Для звичайних позацентрово стиснутих елементів рівняння рівноваги в стані близькому до граничного мають вигляд:

для поздовжніх сил:  $EN_x = 0$ , або

$$P - R_b bx - R_s A_s + R_{sc} A_{sc} - N = 0$$

для згинальних моментів відносно центру ваги розтягнутої (менш стиснутої) арматури:  $EM = 0$ , або

$$Pe - R_b bx (h_0 - 0,5x) - R_{sc} A_{sc} (h_0 - a') - Nf = 0$$

Рівняння пояснюються схемою на рис.1, де показані умовні позначання.

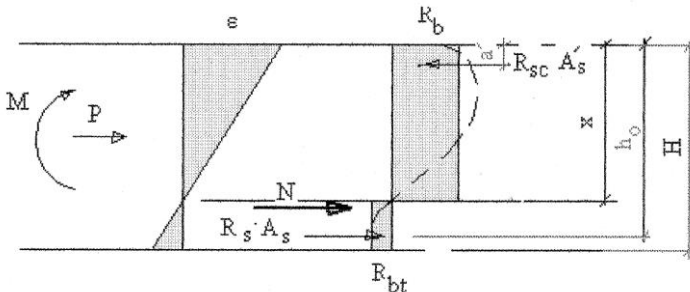


Рисунок 1. Розрахункові зусилля і деформації в перерізі позацентрово стиснутого елемента

Ексцентриситети  $e$  і  $f$  уточнюються в залежності від гнучкості елементів. Для згинальних елементів в рівняннях рівноваги поздовжнє навантаження  $P=0$ .

Саморегульовані елементи можуть працювати аж до моменту їх руйнування без нормальних тріщин. Тому в загальному випадку при розрахунках міцності слід врахувати роботу розтягнутого бетону.

$$P - R_b b x + R_{bt} b (H - x) + R_s A_s - R_{sc} A_{sc} - N = 0 \quad (1)$$

і

$$P e - R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{bt} b (H - x) c - R_{sc} A_{sc} (h_0 - a') - N f = 0 \quad (2)$$

Тут  $c$  – ексцентриситет сили опору розтягнутого бетону відносно приведенного центру ваги розтягнутої (менш стиснутої) арматури.

Обертальний ефект сили характеризується її моментом. Як відомо, момент сили відносно точки (центру)  $s$  величина, рівна взятому з відповідним знаком добутку модуля сили і довжини плеча. Прийmemo, що момент має знак плюс, якщо сили прагнуть повернути тіло навколо точки (центра) супроти ходу стрілки годинника, і знак мінус, – якщо за ходом стрілки. Будемо вважати, що:

– момент сили не змінюється при перенесенні точки прикладання сили вздовж її лінії дії;

– момент сили відносно точки (центра) дорівнює нулю тільки тоді, коли сила рівна рулю або коли лінія дії сили проходить через точку (центр), тобто коли плече рівне нулю;

– момент сили можна представити як подвоєну площу трикутника з вершинами в точці обертання і точці прикладення сили та стороною, що співпадає за довжиною і розташуванням з вектором сили.

Суму моментів можна записати відносно будь-якої точки перерізу. Часто за таку точку приймається перетин нейтральної лінії з лінією перерізу. В випадках серії розрахунків, де варіюють розміщення арматури в перерізі зручно приймати верхню точку перерізу. Нами пропонується розглянути всі точки, що утворюють лінію перерізу. Якщо сила  $N$  прикладена зовнішньо, то в такому випадку величини моменту сили для точок перерізу складатимуть суму зовнішніх моментів від сил навантаження  $P$  і обтиску  $N$  (рис. 2).

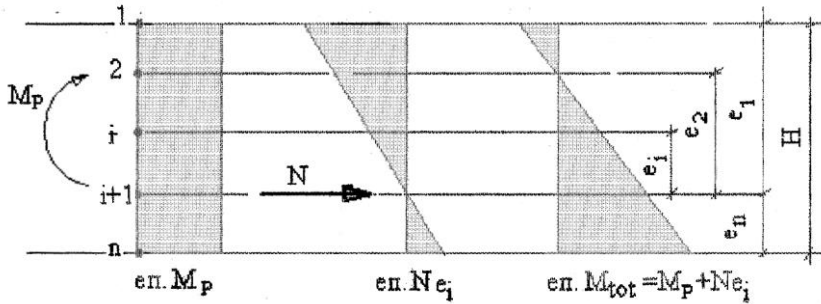


Рисунок 2. Епюри моментів зовнішніх сил відносно точок перерізу

Враховуючи специфіку саморегульованих конструкцій, де сила обтиску  $N$  є функцією зовнішнього навантаження, власне кажучи, реакцією на неї, зміну моменту зовнішніх сил для довільного перерізу можна проілюструвати схемою на рис. 3. Тут точки перерізу позначені -  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

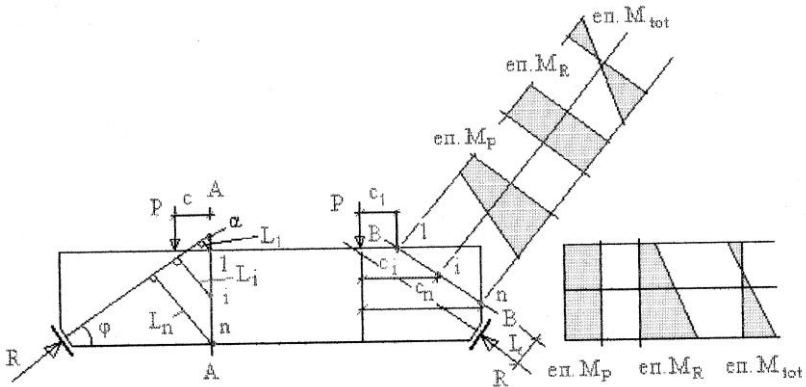


Рисунок 3. Розподілення моментів в перерізах регульованої балки завантаженої зосередженими силами в третинах прольоту

Для нормального перерізу  $A-A$  момент зовнішньої сили  $P$  постійний:  $M_{pi} = P c$ , а момент реакції  $R$  змінний і суттєво залежить від величини плеча  $L_i$ :  $M_{Ri} = R L_i$ . Для змінних за довжиною плечей  $L_i$  характерно, що вони є катетами прямокутних трикутників з постійним за величиною протилежним кутом  $\varphi$  (рис. 3).  $L_i = X_i \cos \varphi$ , де

$X_i$  – відстань від вершини кута  $\alpha = 90^\circ$  -  $\phi$  до  $i$ -тої точки перерізу. Величина кута  $\phi$  визначається нахилом опорної площини до вертикалі. Аналогічно можна одержати сумарну епюру моментів зовнішніх сил для будь-якого перерізу конструкції. На рисунку 3 показана сумарна епюра моментів  $M_{tot}$  для похилої площини перерізу  $B-B$ , розміщеної паралельно до напрямку вектора сили реакції  $R$ .

Для будь-якого перерізу конструкції зовнішній і внутрішній моменти повинні бути в рівновазі. Тобто в кожній точці перерізу внутрішній момент сили рівний зовнішньому, але з протилежним знаком (рис.4). Сума епюр моментів зовнішніх і внутрішніх сил (рис.2, 4) має нульове значення для перерізу.

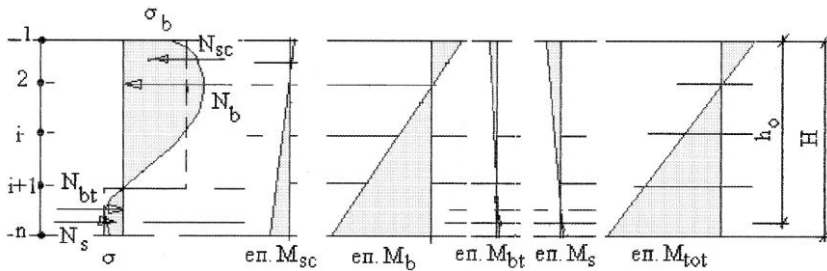


Рисунок 4. Зусилля та їх епюри моментів відносно точок перерізу

В результаті навантаження може утворитися вигин  $\omega$  у балки, гнучкої колони. Врахувати його в розрахунках можна корегуванням довжини плечей внутрішніх і зовнішніх сил. На схемі видно, що довжина плечей  $L_i$  збільшилася. З деяким наближенням можна вважати, що кут  $\phi$  не змінився. Тоді збільшення плеча становить:

$$\Delta L_i = \omega \sin \alpha.$$

Для залізобетонних елементів зі збільшенням висоти поперечного перерізу зростає різниця довжин плечей сил розташованих не паралельно перерізу. В результаті вплив оберտального ефекту сил в перерізі стає більш вагомим. Це викликає додаткові напруження і деформації в перерізі залізобетонної конструкції і повинно прийматися до уваги при розрахунках Сила паралельна перерізу має однакове за величиною плече для всіх точок перерізу і викликає однаковий оберտальний ефект у всіх точках перерізу. Додаткових зусиль за висотою перерізу тут не виникає, що відповідає традиційним поглядам на розрахунок. Сума епюр моментів  $M_{tot}$  зовнішніх сил і внутрішніх зусиль в перерізі відносно точок, що його утворюють, як випливає з рис. 2 і рис. 4, дає нульові значення. Це

свідчить про стан рівноваги в перерізі і можливість використання обертального ефекту сил – моменту сил для розрахунку нормальних і похилих перерізів залізобетонних конструкцій.