

**ДО ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ПРОСТОРОВИХ ПЕРЕРІЗІВ
ЗВИЧАЙНО АРМОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЯМОКУТНОГО
ПРОФІЛЮ З ОДИНОЧНОЮ АРМАТУРОЮ ПРИ ЗГИНІ З
КРУЧЕННЯМ НА ОСНОВІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ**

Клюка О. М., к. т. н., доц., Жорняк М. С., к. т. н., доц.

*Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського, Україна*

У відповідності з діючими до недавнього часу в Україні нормами [1], розрахунок залізобетонних конструкцій незалежно, від умов силового впливу, форми поперечного перерізу та способу армування, виконувався за методикою, при якій напруження в стиснутій зоні бетону, при наявності останньої, розподілялись за її висотою за прямокутним законом, що явно не відповідало фактичному напруженому стану поперечного перерізу. Міжнародні [2], російські [3], білоруські [4] та введені в дію з 1 липня 2011 року українські норми [5] рекомендують виконувати розрахунок міцності поперечних перерізів залізобетонних елементів під дією зовнішнього навантаження на основі деформаційної моделі, згідно з якою напруження за висотою стиснутої зони бетону розподіляються за криволінійним законом. З урахуванням зазначених вище нормативних документів, на протязі останніх років українськими вченими виконані серйозні чисельні дослідження, за результатами яких на основі деформаційної моделі запропоновані методи розрахунку елементів залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах згину [6], косого згину [7], центрального та позacentрового стику [8]. Ці вагомо аргументовані наукові методи базуються на універсальних фізичних та теоретичних розрахункових моделях, що враховують реальний напружений стан поперечного перерізу залізобетонних елементів залежно від характеру впливу зовнішнього навантаження і створені на основі детального аналізу та вибору розрахункових моделей, запропонованих нормативними документами [2-5].

Автором роботи [9] запропонована методика визначення несучої здатності звичайно армованих елементів прямокутного профілю з одиночним та подвійним армуванням при згині з крученням на основі деформаційної моделі. В основу розрахунку покладена власна методика визначення критичної деформації бетону ε_{br} в граничній стадії, розроблена на основі виконаних експериментально-теоретичних досліджень.

В роботі [10] для визначення величини напружень за висотою стиснутої зони бетону запропоновано поліном п'ятого ступеню у вигляді

$$\sigma_c = f_{cd} \sum_{i=1}^5 \alpha_i \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^k. \quad (1)$$

Для звичайно армованого прямокутного перерізу з поздовжньою робочою арматурою, розташованою тільки в розтягнутій зоні (рис. 1), умови рівноваги зусиль в просторовому, нормальному до площини стиснутої зони бетону, перерізі запишуться у вигляді

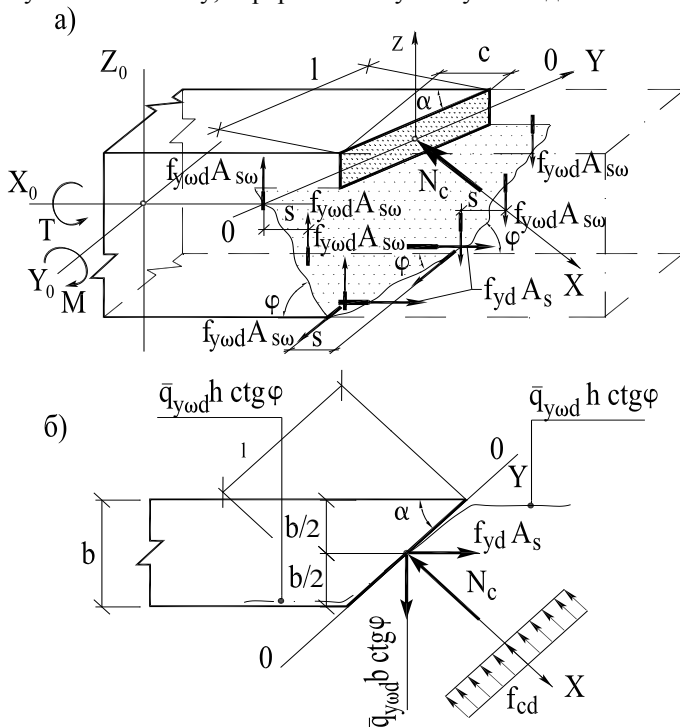


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення несучої здатності залізобетонного елемента прямокутного перерізу з одиночною арматурою при згині з крученням на основі деформаційної моделі: а – аксонометричний вигляд розрахункової схеми; б – горизонтальна проекція залізобетонного елемента

$$\sum M_{O-O} = 0; \quad (2)$$

$$X = 0, \quad (3)$$

де ΣM_{O-O} – сума моментів всіх внутрішніх і зовнішніх зусиль відносно нейтральної лінії $O-O$, що проходить через нижню межу стиснутої зони бетону і лежить в її площині:

$$M_d \sin \alpha + T \cos \alpha = N_s \sin \alpha (d - z_z) + N_{swb} \cos \alpha (h - a_z - z_z) + N_{swh} h \sin \varphi + N_c 0,5 z_z. \quad (4)$$

В цій формулі:

$$N_{swb} = \bar{q}_{y\omega d} b \operatorname{ctg} \varphi; \quad (5)$$

$$N_{swh} = \bar{q}_{y\omega d} h \operatorname{ctg} \varphi; \quad (6)$$

де $\bar{q}_{y\omega d} = f_{y\omega d} A_{sw} / s$ – погонне зусилля в поперечних стрижнях (рис. 2), віднесене до одиниці довжини елемента; на початковому етапі розрахунку приймається конструктивно залежно від розмірів поперечного перерізу згинального елемента при поки що невідомому діаметрі поздовжньої робочої арматури, яке потім уточнюється при перевірці несучої здатності елемента на дію крутного моменту;

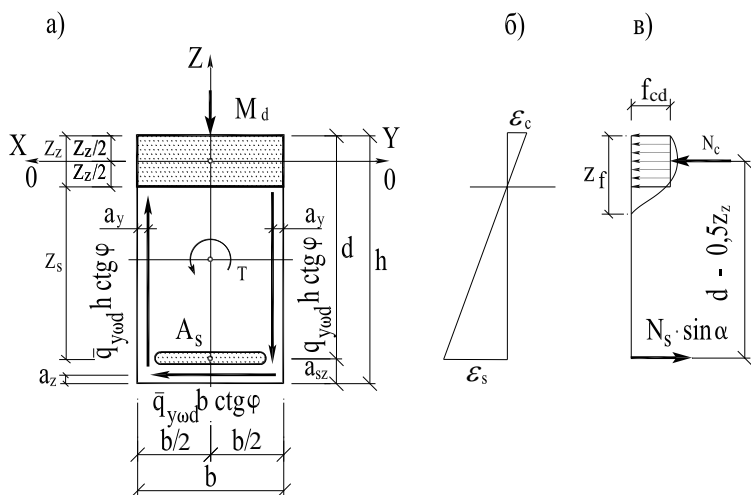


Рис. 2. До розрахункової схеми для визначення несучої здатності залізобетонного елемента прямокутного перерізу з одиночною арматурою при згині з крученням на основі деформаційної моделі: а – поперечний переріз залізобетонного елемента; б – епюра деформацій; в – епюра внутрішніх зусиль в поперечному перерізі

N_c – нормальне до площини стиснутої зони бетону зусилля, що сприймаються бетоном стиснутої зони просторового перерізу. Величина цього зусилля (рис.2) визначається за формулою:

$$N_c = \int_0^{z_z} \sigma_c dA = b \int_0^{z_z} \sigma_c dz = b \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon, \quad (7)$$

де ε_c – відносна деформація крайнього верхнього стиснутого волокна бетону;

ΣX – сума проекцій всіх внутрішніх зусиль на вісь, що проходить через точку перетину вертикальної осової лінії Z із нейтральною лінією $O-O$ перпендикулярно площині стиснутої зони бетону:

$$\Sigma X = N_s \sin \alpha + N_{swb} \cos \alpha - N_c = 0, \quad (8)$$

$$\text{де} \quad N_s = \sigma_s A_s = E \varepsilon_s A_s; \quad (9)$$

ε_s – відносна деформація крайнього волокна розтягнутої арматури.

З використанням залежності “ $\sigma_c - \varepsilon_c$ ” у вигляді (1) формула (7) набуває вигляду:

$$N_c = f_{cd} b z_z \times \left(\alpha_1 \frac{\varepsilon_c}{2\varepsilon_{cl}} + \alpha_2 \frac{\varepsilon_c^2}{3\varepsilon_{cl}^2} + \alpha_3 \frac{\varepsilon_c^3}{4\varepsilon_{cl}^3} + \alpha_4 \frac{\varepsilon_c^4}{5\varepsilon_{cl}^4} + \alpha_5 \frac{\varepsilon_c^5}{6\varepsilon_{cl}^5} \right), \quad (10)$$

де α_k – коефіцієнти, що визначаються згідно з [10, 11].

З урахуванням (9) і (10) складові рівняння (8) набувають вигляду:

$$N_s = E A_s \times \frac{\varepsilon_c}{z_z} (d - z_z); \quad (11)$$

$$N_c = f_{cd} b z_z \sum_{k=1}^5 \frac{\alpha_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^k. \quad (12)$$

Моменти, які сприймаються поздовжньою (M_s) і поперечною (M_{swb} і M_{swh}) арматурою та стиснутою зоною бетону M_c відносно нейтральної осі просторового перерізу $O - O$, визначаються за формулами:

$$M_s = \sigma_s A_s z_s = E \varepsilon_s A_s z_s = E A_s \frac{\varepsilon_c}{z_z} (d - z_z); \quad (13)$$

$$M_{swb} = N_{swb} \cos \alpha (h - a_{sz} - z); \quad (14)$$

$$M_{swh} = N_{swb} h \sin \varphi; \quad (15)$$

$$M_c = \int_0^{z_z} \sigma_c z_z dA_c = b \int_0^{z_z} \sigma_c dz_z = b \int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon \quad (16)$$

З урахуванням виразу (1) формула (16), за якою визначається згинаючий момент, що сприймає стиснута зона бетону, набуває вигляду:

$$M_c = f_{cd} b z_z^2 \sum_{k=1}^5 \frac{\alpha_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^k. \quad (17)$$

Сумарний згинаючий момент, що сприймається поздовжньою і поперечною арматурою, визначається за формулою:

$$M_s + M_{swb} + M_{swh} = E A_s \frac{\varepsilon_c}{z_z} (d - z_z)^2 + N_{swb} \cos \alpha (h - a_z - z_z) + N_{swh} h \sin \varphi. \quad (18)$$

Підставляючи вирази (17) і (18) у (4), отримаємо

$$M_d \sin \alpha + T \cos \alpha = E A_s \frac{\varepsilon_c}{z_z} (d - z_z)^2 + N_{swb} \cos \alpha (h - a_z - z_z) + N_{swh} h \sin \varphi + R_b b z_z^2 \sum_{k=1}^5 \frac{\alpha_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bR}} \right)^k. \quad (19)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно M з урахуванням того, що $\psi = T : M$, отримуємо розрахункову формулу для визначення міцності просторових перерізів звичайно армованих елементів прямокутного профілю з одиночною арматурою при згині з крученням

$$M_d = \frac{1}{\sin \alpha + \psi \cos \alpha} \times \left\{ E A_s \frac{\varepsilon_c}{z_z} (d - z_z)^2 + N_{swb} \cos \alpha (h - a_z - z_z) + N_{swh} h \sin \varphi + f_{cd} b z_z^2 \sum_{k=1}^5 \frac{\alpha_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^k \right\}, \quad (20)$$

в якій критична деформація бетону ε_{cl} визначається за запропонованою автором роботи [9] формулою

$$\varepsilon_{cl} = 0,00074 f_{cd}^{0,31}, \quad (21)$$

отриману на підставі виконаних власних експериментально-теоретичних досліджень.

В формулі (20) параметр z_z визначається методом поступового наближення до досягнення достатньої точності не нижче 5 %.

Після цього за формулою

$$T = \psi M \quad (22)$$

визначають величину крутного моменту T , що сприймається просторовим перерізом елементу прямокутного перерізу з одиночною арматурою при згині з крученням.

Висновок. Отримані рівняння дозволяють виконувати розрахунок міцності просторових перерізів звичайно армованих залізобетонних елементів прямокутного перерізу з одиночним армуванням при сумісній дії згинаючого та крутного моментів на основі деформаційної моделі.

Summary

Based on their research and analysis of proposals by other authors proposed methods for determining the strength of the spatial sections of

reinforced elements generally rectangular profile with a single rebar bending with torsion based deformation model.

Література

- 1.** СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР, - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 77 с.
- 2.** Кодекс – образец ЕКБ–ФИП для норм по железобетонным конструкциям (русский перевод). –М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. –284с.
- 3.** СП 52-101-03. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М., 2003. Госстрой России, 125 стр.
- 4.** СНБ 5.03.01-02. Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования. – Мн., 2002. – 217с.
- 5.** ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 98 с.
- 6.** Роговий С.І. Посібник із розрахунку міцності нормальних перерізів елементів залізобетонних конструкцій на основі деформаційної розрахункової моделі./ С.І. Роговий // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – Вип. 11. – 42 с.
- 7.** Павліков А.М. Напружено-деформований стан навскісно завантажених залізобетонних елементів у за критичній стадії: : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук за спец. 05.23.01– будівельні конструкції, будівлі та споруди. / А.М. Павліков – Полтава, 2008.– 40с.
- 8.** Бамбура А.Н. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. / А.Н. Бамбура, В.Я. Бачинский, Н.В. Журавлева, И.Н. Пешкова – К.: 1987. – 24 с.
- 9.** Клюка О.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів при згині з крученням на основі нелінійної деформаційної моделі. Дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук за спец. 05.23.01– будівельні конструкції, будівлі та споруди. / – Полтава: Полтавський НТУ ім. Ю. Кондратюка, 2010. – 163 с.
- 10.** Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе / Збірник наукових праць. – К.: НДІБК, 2003. – Випуск 59. – Книга 1. – С. 121-130.