

УДК 624.012:624.046

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРУГОВОГО ПЕРЕРІЗУ
ЗА ДЕФОРМАЦІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ ТА ЗАЛЕЖНІСТЮ 3.14
ЄВРОКОДУ-2**

д.т.н., с.н.с. Бамбура А.М., інж. Дорогова О.В.

*Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій», м. Київ, Україна*

В ДП НДІБК виконаний широкий комплекс експериментально-теоретичних досліджень, які дозволили розробити основи прикладної деформаційної теорії залізобетону [1, 2, 3]. В рамках цієї теорії розроблені розрахункові залежності та алгоритм оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних елементів прямокутного, таврового, двотаврового та кругового перерізів, на основі залежності 3.5 [4], щодо описання повної діаграми деформування бетону. Сказане відображено в нових національних нормативних документах ДБН В.6.2-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [4, 5].

В останні роки в ДП НДІБК (технічним комітетом 303), згідно постанови Кабінету Міністрів України від 23 травня 2011 р. № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу», та розпорядження Кабінету Міністрів України від 10 липня 2010 р. № 1436 «Про схвалення Концепції реалізації державної політики з нормативного забезпечення будівництва в Україні на період до 2015 року», розроблено ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Вказаний нормативний документ фактично є перекладом з англійської мови на українську Єврокоду – 2 (EN 1992-1-1:2004). В цьому році буде розроблений Національний додаток до вказаного ДСТУ, який набере чинності з 01.01.2014 року. Таким чином, буде відкрита можливість проєктування залізобетонних конструкцій за Європейським нормативним документом. В той же час, в Єврокод – 2 і відповідно в ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010 не наведено рекурентних залежностей для розрахунку залізобетонних конструкцій різних перерізів в тому числі кругового.

Метою даної роботи є розробка розрахункових залежностей та алгоритму щодо визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності позацентрово стиснутих і згинних залізобетонних елементів кругового перерізу на основі передумов деформаційної моделі залізобетону [2] і залежності 3.14 Єврокоду-2.

Розрахунковий апарат щодо визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності попередньо напружених залізобетонних елементів кругового перерізу розроблений на основі гіпотез та допущень деформаційної моделі залізобетону. В рамках даної статті наведено розрахунковий апарат, який базується на повній діаграмі деформування бетону рис.1, яка описується рівнянням (1).

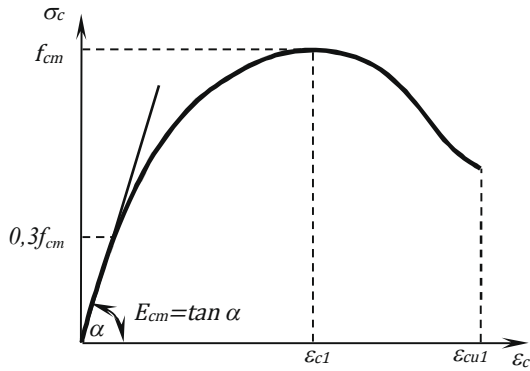


Рис. 1 Диаграма «напруження – деформації» стиснутого бетону

Пропонується, інженерна методика оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних елементів кругового перерізу, в якій використовується чисельне інтегрування системи рівнянь рівноваги.

$$\sigma_c = f_c \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (1)$$

де:

$$- \eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}$$

- ϵ_{c1} – деформації при максимальних напруженнях, згідно з таблицею 3.1 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010;

$$- k = 1,05 E_{cm} \times \epsilon_{c1} / f_{cm} \quad (f_{cm} - \text{згідно з таблицею 3.1 [6]}).$$

Розіб'ємо стиснуту зону залізобетонного елемента кругового перерізу на m шарів (рис. 2), перпендикулярних вісі дії моменту. Для перерізу з діаметром r_1 , при другій формі рівноваги (рис 2, в,г) і висотою стиснутої зони x_1 , відстань від найбільш стиснутої точки перерізу до середини довільного шару z_{cn} , визначається за наступною залежністю

$$z_{cn} = \frac{2x_1[(n-1)+0.5]}{m}, \quad (2)$$

де: m - кількість шарів поділу;

n - порядковий номер шару який розглядається.

Висота шару поділу визначається за формулою:

$$h_{cn} = \frac{x_1}{m}. \quad (3)$$

Ширина будь-якого шару поділу в межах перерізу (при $0 < z_{cn} \leq 2r_1$) визначається за формулою:

$$b_{cn} = 2\sqrt{2r_1 \times z_{cn} - z_{cn}^2} \quad (4)$$

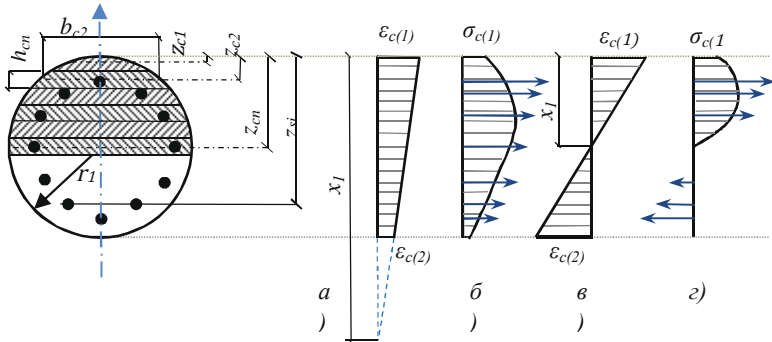


Рис. 2 – До визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу

Таким чином, площа кожного шару може бути визначена за залежністю:

$$A_{cn} = \frac{2x_1}{m} \sqrt{2r_1 \times z_{cn} - z_{cn}^2}, \quad (5)$$

Зусилля в арматурі незалежно від форми рівноваги визначаються відповідно за рекомендаціями, які наведені в роботі [2] в залежності від того, яка арматура використовується для армування розрахункового перерізу - попередньо напружена або звичайна.

Використовуючи гіпотезу плоских перерізів і залежність (1) неважко визначити напруження в середині кожного шару:

$$\sigma_{cn} = f_c \frac{k\eta_{cn} - \eta_{cn}^2}{1 + (k-2)\eta_{cn}} \quad (6)$$

де:

- $\eta_{cn} = \frac{\epsilon_{cn}}{\epsilon_{c1}}$;
- $\epsilon_{cn} = \kappa(x_1 - z_{cn})$ - деформації середини шару бетону.

Зусилля в арматурі визначаються відповідно з рекомендаціями, які наведені в роботі [2]. Враховуючи сказане, рівняння для другої форми рівноваги, без урахування роботи бетону на розтяг, приймають вигляд:

$$\sum_{n=1}^m \frac{2f_c x_1}{m} \sqrt{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - N = 0, \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^m \frac{2f_c x_1 (x_1 - z_{cn})}{m} \sqrt{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) - M = 0 \quad (8)$$

Оскільки, при першій формі рівноваги, весь переріз є стиснутим то на m шарів розділяється весь переріз, і тому величини z_{cn} і h_{cn} будуть визначатись за наступними залежностями:

$$h_{cn} = \frac{2r_1}{m} \quad \text{а} \quad z_{cn} = \frac{2r_1 [(n-1)+0.5]}{m}. \quad (9)$$

З урахуванням залежностей (9) рівняння для першої форми рівноваги, без урахування роботи бетону на розтяг, приймають вигляд:

$$\sum_{n=1}^m \frac{4f_c r_1}{m} \sqrt{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} = N \quad (10)$$

$$\sum_{n=1}^m \frac{4r_1(x_1 - z_{cn})}{m} \sqrt{2r_1 z_{cn} - z_{cn}^2} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) - M = 0 \quad (11)$$

Рішення отриманих систем нелінійних рівнянь, згідно деформаційної методики, знаходиться підбором, за параметрами деформованого стану: $\varepsilon_{c(1)}$ і x (або $\varepsilon_{c(2)}$), після чого неважко знайти деформації на будь-якій відстані x від нейтральної лінії, а значить, за допомогою гіпотези плоских перерізів знайти напруження в бетоні і арматурі. Таким чином, рішення систем рівнянь (7) - (8) та (10) - (11) дозволяє виконати оцінку напружено-деформованого стану перерізу при будь-якому рівні навантаження.

Наведені системи нелінійних рівнянь для першої і другої форм рівноваги і методика розрахунку дозволяють не тільки виконати оцінку напружено-деформованого стану згинних та позакентрово стиснутих залізобетонних звичайних та попередньо напружених елементів кругового перерізу, а використовуючи критерії вичерпання несучої здатності [2], визначити їх несучу здатність.

Співставлення результатів визначення несучої здатності залізобетонних елементів кругового перерізу за «точною» та за спрощеною (системи рівнянь (7- 8, 10 -11)) методиками, показало, що максимальна похибка в розрахунках, якщо поділ стиснутої зони прийняти на $m=40$ шарів, не перевищує 1%. Що з точки зору практики цілком задовільно.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бамбура Андрей, Бачинский Владимир и др. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. // К.: НИИСК, 1987. – С. 25.
2. Бамбура Андрей, Гурковский Александр. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе // Міжвід. наук.-техн. зб. Будівельні конструкції. - К.:НДБК, 2003. - № 59. – С. 121-130.
3. Бамбура Андрій, Гурківський Олександр, Безбожна Маріанна, Дорогова Олена Деформаційна модель та алгоритм визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. №50. – Днепропетровск., ПГАСА, 2009. – С. 19-25.
4. ДБН В.6.2-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення»
5. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування»
6. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010