

УДК 624.012.45

## РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ІЗ ЗНАКОЗМІННИМИ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ

**М. О. Лисюк**

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня, група ПЦБ-51м,  
навчально-науковий інститут будівництва та архітектури

Науковий керівник – к.т.н., професор Г. Х. Масюк

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна*

Стаття присвячена розрахунку несучої здатності позацентрово стиснутих конструкцій, що працюють в умовах малоциклових повторних навантажень із знакозмінними ексцентриситетами на основі деформаційної моделі. Використовуючи експериментальні дослідження теоретично запропоновано формулу для визначення несучої здатності вищезазначених конструкцій. Такий характер навантажень суттєво впливає на зміну фізико-механічних властивостей бетону в процесі експлуатації конструкцій. Чим вищий рівень малоциклових знакозмінних навантажень, тим більше знижується міцнісні характеристики бетону порівняно з однозначними статичними навантаженнями. Визначення зміни фізико-механічних властивостей бетону, при введенні відповідного коефіцієнта умов роботи, обґрунтовано статистично. Врахування таких змін в роботі позацентрово стиснутих елементів дасть можливість підвищити їх надійність і довговічність.

**Ключові слова:** малоциклові навантаження, позацентрово стиснуті елементи, несуча здатність, знакозмінні ексцентриситети.

The article is devoted to the calculation of the bearing capacity of eccentrically compressed structures operating in low-cycle reloads with alternating eccentricities based on the deformation model. Using experimental studies, a theoretical formula has been proposed to determine the bearing capacity of the above structures. This nature of the load significantly affects the change of physical and mechanical properties of concrete during the operation of structures. The higher the level of low-cycle alternating loads, the greater the strength characteristics of concrete compared to unambiguous static loads. Determining the change in physical and mechanical properties of concrete, with the introduction of the appropriate coefficient of working conditions, substantiated statistically. Taking into account such changes in the work of eccentrically compressed elements will increase their reliability and durability.

**Keywords:** lowcycle loads, eccentrically compressed elements, bearing capacity, alternating eccentricities.

Основним несучим елементом всіх каркасних будівель і споруд є колони, які працюють на позацентровий стиск від навантажень різноманітного характеру – від статичних постійних до малоциклових повторних і знакозмінних. Малоциклові знакозмінні навантаження спричиняють особливі умови роботи залізобетонних стиснутих конструкцій і змінюють, в процесі експлуатації, механічні і деформативні характеристики бетону, впливаючи на процеси тріщиноутворення та деформативність цих елементів.

Встановлення напружено-деформованого стану, який відповідає реальній роботі конструкцій є одним із основних завдань для розроблення теорії розрахунків. Методи розрахунку несучої здатності та деформативності позацентрово стиснутих елементів постійно вдосконалюються. Проте у чинних нормативних документах [1, С. 71], [2, С. 118] виконання цих розрахунків здійснюється на основі нелінійної деформаційної моделі з використанням дволінійних діаграм деформування матеріалів. Виконання таких розрахунків досить складне і без спеціальних комп'ютерних програм здійснити їх складно навіть при однозначних статичних навантаженнях. Крім того, реалізація цього методу розрахунку ускладнюється ще й тим, що в нормах для позацентрово стиснутих елементів не визначено чітких залежностей для форм рівноваги перерізу. Що стосується впливу малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами, то в нормах відсутні рекомендації щодо визначення зазначених параметрів для позацентрово стиснутих конструкцій.

**За весь період розвитку** теорії розрахунку позацентрово стиснутих елементів багато вітчизняних і зарубіжних вчених проводили дослідження з визначення несучої здатності. Що ж стосується досліджень роботи позацентрово стиснутих елементів при складних видах навантажень, то їх кількість обмежена. До таких робіт слід віднести роботи [3, С. 87], [4, С. 444], [5, С. 370] та інші, в яких наведені пропозиції щодо вдосконалення методів розрахунку таких елементів. Експериментальні дослідження роботи позацентрово стиснутих елементів за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами були проведені в лабораторії кафедри ПЦБ та ІС під керівництвом професора Масюка Г. Х. Результати досліджень опубліковані в роботах [6, С. 183; 7, С. 248].

**У статті за мету** ставиться розроблення розрахункових схем і аналітичних залежностей розрахунку несучої здатності позацентрово стиснутих конструкцій за дії малоциклових повторних навантажень із знакозмінними ексцентриситетами з використанням нелінійної деформаційної моделі.

$$\sum N = 0; N_{E_d} + N_s - N_c - N'_s = 0; \quad (1)$$

$$\sum M = 0; N_{E_d} * e - N'_s * (d - a'_s) - N_c (d - 0,5X). \quad (2)$$

Використовуючи рекомендації діючих норм залежність між напруженнями і деформаціями за дії однозначного короткотривалого стискаючого навантаження (рис. 1) для розрахунків при чисельному інтегруванні рівнянь рівноваги перерізу записується так:

$$\sigma_c(\eta) = f_{cd} * \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}; \quad (3)$$

де  $\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c(l)}}$ ;

$\varepsilon_{c(l)}, cd$  – по таблиці ДБН;

$k = 1,05 E_{cd} * \varepsilon_{c(l)} / f_{cd} \approx 1...4$ ; (параметри  $E_{cd}$  і  $f_{cd}$  приймаються по таблиці ДБН);

$\eta$  – поточне значення рівня деформацій бетону;

$k$  – коефіцієнт пружно-пластичних деформацій бетону.

Функціональний зв'язок поточного рівня деформацій  $\eta$  з координатою  $X$  в системі координат ХОУ, початок якої в точці  $O_1$  отримано із використанням гіпотези плоских перерізів:

$$\varepsilon_c(x) = (\varepsilon_{cm} / X) x \Rightarrow \eta(x) = (\eta_{cm} / X) x. \quad (4)$$

Залежність (3) з урахуванням (4) приведено до рівнянь (1) і (2) функції напружень  $\sigma_{c(x)}$

$$\sigma_{c(x)} = f_{cd} \frac{[K \frac{\eta_m x}{X} - (\frac{\eta_m x}{X})^2]}{[1 + (K - 2) \frac{\eta_m x}{X}]} \quad (5)$$

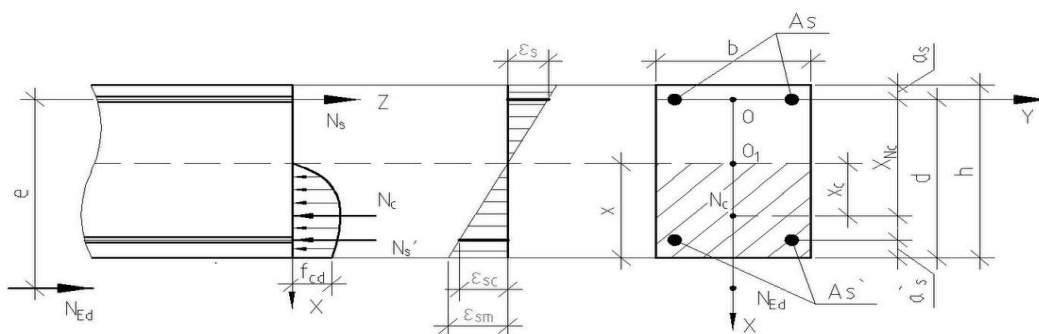


Рис. 1. Розрахункова схема позацентровано стиснутого елемента за дії однозначного статичного навантаження

Рівновага зусиль в стиснутій зоні бетону

$$N_c = \int_0^x \sigma_c(x) dx \quad (6)$$

Після інтегрування функції (5) зусилля в стиснутому бетоні буде

$$N_c = f_{cd} b X \omega, \quad (7)$$

де  $\omega(\eta_m K)$  – коефіцієнт повноти епюри напружень у стиснутому бетоні;

$X$  – висота стиснутої зони бетону;

$b$  – ширина перерізу.

За умови повного використання арматури  $A'_s$  і  $A_s$  з рівняння (1) і рівності (7), отримано в стані граничної рівноваги

$$X = \frac{N_c}{f_{cd} b \omega} = \frac{N + f_{yd} A'_s - f_{yd} A_s}{f_{cd} b \omega} \quad (8)$$

Після визначення висоти стиснутої зони  $X$  із (8) знаходимо значення несучої здатності, приймаючи прямокутну опору стиску, позацентровано стиснутого елемента за дії однозначного статичного навантаження

$$M_{Ed} = N_{Ed} * e = \sigma'_{sc} A'_s (d - a'_s) + f_{cd} b X (d - 0.5 X). \quad (9)$$

За дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентрисистемами характер роботи позацентровано стиснутих елементів поциклово є подібним до роботи таких елементів за дії однозначних статичних навантажень, але розвиток деформації в бетоні і арматурі, в стиснутій і розтягнутій зонах перерізу поперемінно буде суттєво відрізнятися від циклу до циклу за своїми величинами рис. 2.

Навіть при середніх рівнях малоциклових навантажень ( $\eta = 0,5 \dots 0,6$ )  $f_{cd}$ , як показано в експериментальних даних, розрахункова міцність бетону на стиск  $f_{cd}$  знижується. Цей фактор зумовлений причинами зниження значення розрахункового модуля пружності бетону  $E_{cd}$  за рахунок перерозподілу зусиль в його складових після поциклового стиску і розтягу, виникнення власних структурних напружень при розвантаженні елемента і розвитком часткової незворотності деформацій повзучості бетону і його старіння. Крім того, виникнення і розвиток поздовжніх і поперечних тріщин і мікротріщин, порушуючи

цілісність тіла конструкції, також впливає на зниження параметрів  $E_{cd}$  і  $f_{cd}$ .

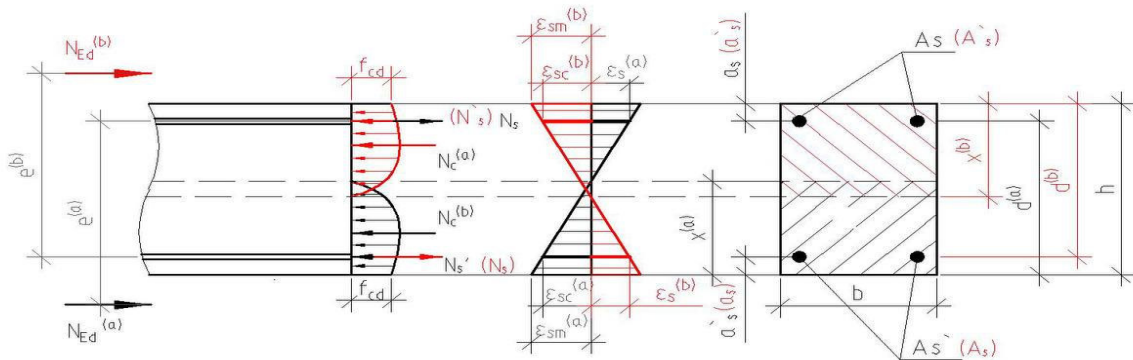


Рис. 2. Розрахункова схема позакентрово стиснутого елемента за дії малоциклових навантажень

За рахунок зниження розрахункової міцності бетону  $f_{cd}$  за дії малоциклових навантажень із знакозмінними навантаженнями зменшується несуча здатність позакентрово стиснутих елементів. В ряді досліджень вчених Макаренка, Л. П., Бабица Є. М. і їх учнів на основі експериментально-теоретичних досліджень визначено значення коефіцієнта умов роботи за дії малоциклових навантажень  $\gamma_{cyc}$  залежно від рівня  $\eta_{cyc}$ , який необхідно вводити до розрахункової міцності бетону на стиск  $f_{cd}$ .

$$\gamma_{cyc} = \frac{E_c(l)}{E_1} = 1 + 0.483\eta_{cyc}^2, \quad (10)$$

де  $\eta_{cyc}$  – поцикловий рівень навантажень.

Враховуючи коефіцієнт умов роботи  $\gamma_{cyc}$  за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами несучою здатністю для таких елементів слід визначити за умовою

$$M_{ed} = N_{ed} * e = A'_s * \sigma_{sc} (d - a'_s) + f_{cd} \gamma_{cyc} b X (d - 0.5 X). \quad (11)$$

На основі аналізу даних досліджень запропонована методика розрахунку може застосовуватись для визначення несучої здатності позакентрово стиснутих елементів за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентрисистемами, що дає можливість максимально використовувати міцність і деформативні властивості бетону й відповідно більш раціонально застосовувати арматуру.

1. ДБН В.2.6 – 98. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. 2009. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2011. 71 с. 2. ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону Правила проектування. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2011. 118 с. 3. Щелкунов В. Г. Розрахунок міцності позакентрово стиснутих залізобетонних елементів і пошук варіантів мінімальної вартості : навч. посіб. Київ : НОК ВО, 1992. 87 с. 4. Павліков А. М., Бойко О. В., Федоров Д. Ф. Застосування нелінійної деформаційної моделі в розрахунках міцності позакентрово стиснутих залізобетонних елементів при плоскому і косому деформуванні. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. пр. Рівне : НУВГП, 2011. Вип. 22. С. 444 – 451. 5. Павліков А. М., Гарькова О. В. Перевірка міцності позакентро стиснутих залізобетонних елементів на основі дволінійних діаграм стану бетону і арматури. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. пр. Рівне : НУВГП, 2013. Вип. 25. С. 370–376. 6. Масюк Г. Х., Алексієвць І. І. Визначення несучої здатності позакентрово стиснутих елементів за дії знакозмінних навантажень з використанням дволінійних діаграм стану бетону і арматури. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. пр. Рівне, 2015. Вип. 30. С. 183–187. 7. Масюк Г. Х., Алексієвць І. І., Войтович О. В. Експериментально-теоретичні дослідження міцності та граничної деформації бетону позакентрово стиснутих залізобетонних елементів за дії малоциклових знакозмінних навантажень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві* : зб. наук. пр. Луцьк, 2016. Вип. 5. С. 248–258.