

УДК 624.012.45:624.072.2

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ІЗ ЗНАКОЗМІННИМИ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК С ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

STRENGTH CALCULATION OF THE ECCENTRIC-COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER THE ACTION OF THE LOW-CYCLE LOADINGS WITH ALTERNATING ECCENTRICITIES USING DEFORMATION MODEL

Масюк Г.Х., к.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Масюк Г.Х., к.т.н., проф. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ривне)

Masjuk G.Ch., candidate of technical sciences, professor (National university of water management and nature resources used, Rivne)

Наведені пропозиції щодо виконання розрахунків міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами на основі деформаційної моделі з використанням критерію міцності

Приведены предложения по использованию расчетов прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов при действии малоцикловых нагрузок из знакопеременными эксцентриситетами на основании деформационной модели с использованием критерия прочности

The article is offered a suggestion to use strength calculation of the eccentric-compressed reinforced concrete elements under the action of the low-cycle loadings with alternating eccentricities using deformation model and strength criteria

Ключові слова:

Позацентричний стиск, малоциклові навантаження, знакозмінні ексцентриситети.
Внецентренное сжатие, малоцикловые нагрузки, знакопеременные эксцентриситеты.
Eccentric-compression, low-cycle loadings, alternating eccentricities.

Вступ. За нормами [1] розрахунок міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів, окрім переваг, таких як: чіткий фізичний зміст, простота при застосуванні та достатня апробованість, має суттєвий недолік – не враховування явища перерозподілу напружень у бетоні стиснутої зони за дії поздовжньої сили зі знакозмінними ексцентриситетами, властивого таким елементам.

За даними аналізу останніх публікацій, в яких висвітлені початкові пропозиції щодо розв'язання даної проблеми встановлено наступне. У введених в дію норм ДБН В.2.6-98:2009 [2] пропонується вирішити дану проблему шляхом виконання розрахунків міцності залізобетонних елементів на основі нелінійної деформаційної моделі. Деякі пропозиції щодо вдосконалення методики розрахунку міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів і подолання зазначеного недоліку, викладено також у роботах [3-6]. Розв'язання даної задачі, на основі аналізу вказаних публікацій, полягає в отриманні функціональної залежності для визначення граничного значення рівня η_u деформацій стиску бетону, при якому елемент здатний чинити максимальний опір зовнішньому навантаженню. Отже, розробка методики розрахунку міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів на основі нелінійної деформаційної моделі з використанням математично обґрунтованого критерію міцності, який дозволяє теоретично обчислювати граничні значення деформацій стиску бетону в залізобетонних елементах, в т.ч. і при малоциклових видах навантажень, є задачею актуальною.

Метою і завданням даних досліджень є отримання аналітичних залежностей для розрахунку міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при плоскому та складному (малоциклові навантаження зі знакозмінними ексцентриситетами) деформуванні на основі нелінійної деформаційної моделі.

В результаті досліджень розглядається гранична рівновага при позацентровому стиску плоско деформованого залізобетонного елемента прямокутного перерізу розміром $b \times h$ із симетричним армуванням (рис. 1) із застосуванням передумов розрахунку за [2].

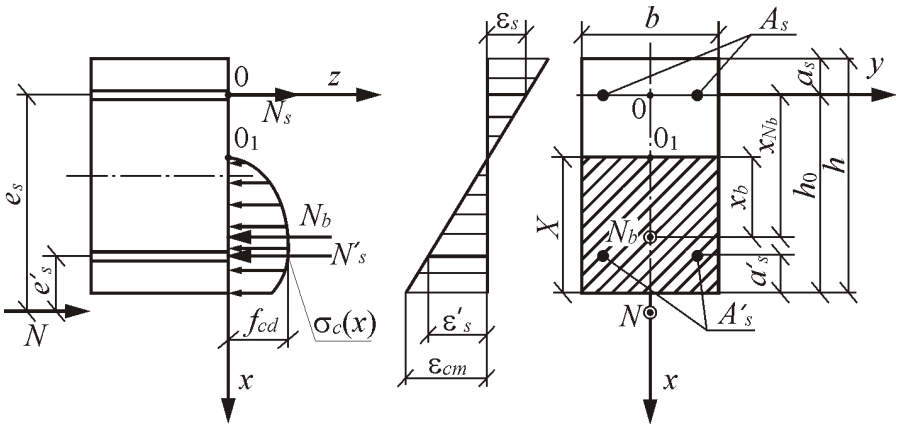


Рис. 1. Розрахункова схема позациентрово стиснутого залізобетонного елемента

Виходячи із розрахунків схеми позациентрово стиснутого залізобетонного елемента при плоскому деформуванні рівняння рівноваги будуть мати вигляд:

$$\sum z - z = 0$$

$$N + N_s - N'_s - N_b = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_0 = 0$$

$$N'_s(h_0 - a') + N_b \cdot X_{N_b} - Ne_s = 0 \quad (2)$$

де N - осьова сила від зовнішнього навантаження;

N_s - рівнодіюча зусиль в арматурі розтягнутої зони;

N'_s - рівнодіюча зусиль в арматурі стиснутої зони;

$N_b = \int_0^x \sigma_c(x) b dx$ - рівнодіюча зусиль в бетоні стиснутої зони;

X_{N_b} - відстань від точки прикладання рівнодіючої напружень в бетоні стиснутої зони до осі y (рис. 1).

За рекомендаціями [2] зв'язок між напруженнями та деформаціями стиснутого бетону залізобетонного елемента $\sigma_c(\eta)$ приймається у вигляді залежності

$$\sigma_c(\eta) = f_{cd} - \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K - 2)\eta}, \quad (3)$$

де $\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{cR}$ - змінні значення рівня деформації бетону;

$$K = \varepsilon_{cR} \cdot \frac{E_{cd}}{f_{cd}} \approx 1...4 \text{ - коефіцієнт пружно-пластичності.}$$

Функціональний зв'язок $\eta - x$ в системі координат XOY , початок якої в точці O_1 , отримано із використанням гіпотези плоских перерізів

$$\varepsilon_c(x) = \left(\frac{\varepsilon_{cm}}{X} \right) x \rightarrow \eta(x) = \left(\frac{\eta_m}{X} \right) x. \quad (4)$$

З урахуванням залежності (4) залежність (3) приведемо до рівнянь (1), (2).

$$\sigma_c(x) = f_{cd} \left[K \frac{\eta_m x}{X} - \left(\frac{\eta_m x}{X} \right)^2 \right] / \left[1 + (K - 2) \frac{\eta_m x}{X} \right] \quad (5)$$

Після інтегрування виразу (5) зусилля в стиснутому бетоні мають вигляд:

$$N_b = f_{cd} b X \cdot \omega, \quad (6)$$

де $\omega(\eta_m, K)$ - коефіцієнт повноти напружень у стиснутому бетоні, функціональна залежність якого наведена в [6].

З рівняння (1) і рівності (6) при умові повного використання арматури A_s і A'_s отримаємо висоту стиснутої зони в стані граничної рівноваги елемента

$$X = \frac{N_b}{f_{cd} b \omega} = \frac{N + f_c A'_s - f_t A_s}{f_{cd} b \omega} \quad (7)$$

Автором [6] запропоновано визначення положення точки прикладання рівнодіючої зусиль в стиснутому бетоні:

$$x_b = \frac{S_b}{N_b} = X \frac{\varphi}{\omega}, \quad (8)$$

де $S_b = f_{cd} b X^2 \varphi$ - статичний момент об'ємної епюри напружень у бетоні стиснутої зони відносно осі, що співпадає з нейтральною лінією;

$\varphi(\eta_m, K)$ - коефіцієнт, функціональна залежність якого наведена в [6].

Аналізуючи вирази (7) і (8) впливає, що для обчислення параметрів стиснутої зони X і x_b , необхідно визначити рівень деформацій, при якому елемент здатний чинити максимальний опір зовнішньому навантаженню. Для цього автором [8] пропонується використовувати експериментальний деформаційний критерій міцності за [7] у вигляді

$$N(\eta_u) = \max(N(\eta_m)) \text{ або } \left. \frac{\partial N}{\partial \eta_m} \right|_{\eta_m = \eta_u} = 0. \quad (9)$$

Використавши, що $X_{N_b} = h_0 - X + x_b$ і підставивши значення (8) у (2) отримаємо залежність

$$N e_s = N'_s (h_0 - a'_s) + N_b \left(h_0 - X + X \frac{\varphi}{\omega} \right) = N'_s (h_0 - a'_s) + (N + f_c A'_s - f_t A_s) \left[h_0 - \frac{N + f_c A'_s - f_t A_s}{f_{cd} b} \left(\frac{\omega - \varphi}{\omega^2} \right) \right]. \quad (10)$$

Продиференціювавши рівність (10) по параметру η_m з урахуванням критерію (9) при умові сприймання елементом максимального навантаження, значення η_m буде знайдено із виразу

$$\frac{\partial}{\partial \eta_m} \left(\frac{\omega - \varphi}{\omega^2} \right) = 0. \quad (11)$$

Використовуючи в подальшому залежності, наведені в [8] при умові, що $\eta_m = \eta_u$, де η_u – рівень максимальних деформацій стиску бетону, при якому досягається максимум несучої здатності.

$$\eta_u = 0,26 \lg(K - 0,9) + 1,26 \quad (12)$$

Визначивши значення рівня деформацій η_u за (12) рівняння рівноваги (1), (2) для загального випадку розрахунку міцності позacentрово стиснутих елементів при плоскому деформуванні мають вигляд:

$$N_u = f_{cd} b X \omega - \sigma_s A_s + \sigma'_s A'_s, \quad (13)$$

$$N_u \cdot e_s = \sigma'_s A'_s (h_0 - a'_s) + f_{cd} b X \omega \left[h_0 - X \left(1 - \frac{\varphi}{\omega} \right) \right]. \quad (14)$$

Із рівняння (13) знаходять висоту стиснутої зони бетону X , попередньо визначивши значення напружень у арматурі, враховуючи зв'язок $x \rightarrow \varepsilon_s$ за гіпотенузою плоских перерізів:

$$\sigma'_s = E_s \varepsilon'_s = E_s \frac{X - a'_s}{X} \varepsilon_{cR} \eta_u, \quad (15)$$

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s = E_s \frac{h_0 - X}{X} \varepsilon_{cR} \eta_u. \quad (16)$$

Визначивши висоту стиснутої зони X із рівняння (14) знаходять несучу здатність елемента.

За дії малоциклових навантажень знакозмінними ексцентриситетами характер роботи позacentрово стиснутих елементів є подібним, але розвиток деформацій матеріалів в стиснутій і розтягнутій зоні буде суттєво відрізнятися за своїми величинами, що суттєво впливає на їх несучу здатність.

На основі аналізу напружено-деформованого стану експериментальних даних позacentрово стиснутих елементів за дії мало циклових навантажень виявлено, що за рахунок перерозподілу зусиль в перерізі деформації бетону

стиснутої зони і стиснутої арматури в напівциклах збільшуються, а несуча здатність при цьому зменшується.

Враховуючи вище сказане, при визначенні несучої здатності, необхідно враховувати дане явище. На першому етапі в формулах (13) і (14) слід вводити коефіцієнти умов роботи γ_c і γ_s до розрахункових характеристик матеріалів. Ці коефіцієнти умов роботи знаходять в межах – 0,95...0,85. Теоретичне обґрунтування коефіцієнтів буде зроблено з накопиченням відповідних експериментальних даних.

Висновки. Введення у розрахунки міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів обґрунтованого критерію міцності, за допомогою якого можна обчислювати граничні значення деформацій стиску в бетоні, дозволяє врахувати явище перерозподілу напружень у бетоні стиснутої зони, в т.ч. і за дії мало циклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами.

За цією методикою при визначення несучої здатності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів є можливість використовувати максимально міцнісні і деформативні властивості бетону і більш раціонального застосовувати армування таких елементів.

1. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01-84*. - М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1989, - 80 с. **2.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування : ДБН В.2,6-98:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. - 97 с. **3.** Прохоров С.В. К расчету внецентренно сжатых железобетонных элементов / С.В. Прохоров // Вопросы прочности, трещиностойкости и деформативности железобетона: сб. науч. ст.- Ростов-на-Дону: Рост. инж.-строит. ин-т, 1983. - С. 32 - 33. **4.** Щелкунов В.Г. Розрахунок міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів і пошук варіантів мінімальної вартості: навч. посібник / В.Г. Щелкунов. - К.: НОК ВО, 1992. - 87 с. **5.** Банков В.Н. Определение предельного состояния внецентренно сжатых элементов по неупругим зависимостям напряжения - деформации бетона и арматуры / В.Н. Банков, С.В. Горбатов // Бетон и железобетон. - 1985. - №6. - С. 13 - 14. **6.** Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у за критичній стадії: монографія / А.М. Павліков. - Полтава, 2007. - 320 с. **7.** Митрофанов В.П. Екстремальний критерій міцності залізобетонних елементів у деформаційній моделі / В.П. Митрофанов, А.М. Павліков // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: НДІБК, 2005. - Вип. 62.- Т.1. - С. 205 - 213. **8.** Павліков А.М. Застосування нелінійної деформаційної моделі в розрахунках міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при плоскому та косому деформуванні / Павліков А.М., Бойко О.В., Федоров Д.Ф. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.22. – Рівне, 2011. – С. 444-451.