

**РОЗРАХУНОК ЗА НЕСУЧОЮ ЗДАТНІСТЮ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ КОЛОН ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ІЗ ЗНАКОЗМІННИМИ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ У ВІДПОВІДНОСТІ НОВИХ НОРМ.**

**РАСЧЕТ ЗА НЕСУЧЕЙ СПОСОБНОСТЮ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОН ПРИ ДЕЙСТВИИ МОЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК С ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ В СООТВЕТСТВИИ НОВЫХ НОРМ.**

**ALCULATION AFTER BEARING STRENGTH OFF-CENTER THE COMPRESSED COLUMNS FOR ACTIONS OF МАЛОЦИКЛОВИХ LOADING WITH ALTERNATING ЕКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ IN ACCORDANCE OF NEW NORMS.**

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

**Масюк Г. Х., к.т.н., проф., Масюк В. Г., ассистент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно).

**Masuk G. Ch., candidate of technical sciences, professor,**

**Masuk V. G., assistant** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne).

В статті наведені пропозиції щодо використання розрахунків несучої здатності позацентрово стиснутих колон за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами на основі нових норм з використанням критерію міцності.

В статье приведены предложения по использованию расчетов несущей способности внецентренно сжатых железобетонных колон при действии малоцикловых нагрузок со знакопеременными эксцентриситетами на основании новых норм с использованием критерия прочности.

In the article the brought suggestions over in relation to the use of calculations of bearing strength off-center the compressed columns for the actions of the малоциклових loading with alternating excentricities on the basis of new norms with the use of criterion of durability.

**Ключові слова:**

**Позацентричний стиск, мало циклові навантаження, знакозмінні ексцентриситети.**

**Внецентренное сжатие, малоциклические нагрузки, знакопеременные эксцентриситеты.**

**Off-center clench, small cyclic loading, alternating excentricities.**

**Вступ.** Розрахунок за несучою здатністю позацентрово стиснутих залізобетонних конструкцій у відмінених нормативних документах [1], окрім

переваг, таких як: чіткий фізичний зміст, простота при застосуванні та достатня апробація, має суттєвий недолік – не врахування явища перерозподілу напружень стиснутої зони за дії повздовжньої сили навіть при односторонніх ексцентриситетах, властивого таким елементам. Що ж стосується визначення несучої здатності позацентрово стиснутих елементів зі знакозмінними ексцентриситетами, то враховуючи вказаний недолік, задача ускладнюється в отриманні достовірних результатів.

**Аналіз останніх публікацій і досліджень, в яких розглядається розв’язання даної проблеми.** За даними аналізу останніх публікацій, в яких висвітленні пропозиції щодо усунення недоліку попередніх норм встановлено наступне. У діючих нормативних документах [2, 3] пропонується вирішити дану проблему шляхом виконання розрахунків несучої здатності залізобетонних елементів на основі нелінійної деформаційної моделі. Деякі пропозиції по вдосконаленню методики розрахунку за несучою здатністю позацентрово стиснутих залізобетонних елементів, викладено в роботах [4]. Вирішення даної проблеми, на основі аналізу розглянутих публікацій, полягає в отриманні функціональної залежності для визначення граничного рівня  $\eta_u$  при якому виникають деформації стиску бетону, і при цьому елемент ще здатний чинити опір зовнішньому навантаженні. Виходячи з цього, розробка методики розрахунку за несучою здатністю позацентрово стиснутих елементів за дії малоциклових знакозмінних навантажень, на основі нелінійної деформаційної моделі з використанням критерію міцності, що дозволить теоретично визначити граничні значення деформацій стиску бетону в залізобетонному елементі, є актуальною задачею.

**Мета і задачі досліджень.** Отримати аналітичні залежності для розрахунку несучої здатності позацентрово стиснутих залізобетонних колон за дії малоциклових навантажень зі знакозмінними ексцентриситетами з використанням нелінійної деформаційної моделі.

**Основна частина.** В результаті проведених експериментально-теоретичних досліджень для вирішення даної задачі розглядається гранична рівновага позацентрово стиснутого елемента (колони) прямокутного профілю  $b \times h$  з симетричним армуванням за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами (рис.1) з застосуванням передумов розрахунку, прийнятих у діючих нормах [2, 3].

При одноразовому статичному завантаженні елемента на позацентровий стиск (рис.2), розрахункові формули рівнянь рівноваги будуть мати вигляд:

$$\sum_{z-z} = 0; N + N_s - N'_s + N_c = 0, \quad (1)$$

$$\sum_{M_o} = 0; N'_s(d - a'_s) + N_c * X_{Nc} - N_e s = 0; \quad (2)$$

де  $N_c$ ,  $N_s$ ,  $N'_s$  – рівнодіючі зусиль відповідно в бетоні стиснутої зони, в розтягнутій та стиснутій арматурі;

$N$  – повздовжня сила від зовнішнього навантаження на елементі;

$d$  – робоча висота перерізу;

$X_{N_c}$  – відстань від точки прикладання рівнодіючої зусиль в бетоні стиснутої зони до осі  $y$ ;

$a_s$  – відстань від стиснутої грані перерізу до точки прикладання рівнодіючої в стиснутій арматурі;

$e_s = e_o + n/2 - a_s$  – відстань від точки прикладання зовнішньої повздовжньої сили до точки прикладання рівнодіючої в розтягнутій арматурі;

$e_o$  – ексцентриситет прикладання зовнішньої сили відносно центру ваги перерізу.

$a_s$  – відстань від розтягнутої грані перерізу до точки прикладання рівнодіючої в розтягнутій арматурі.

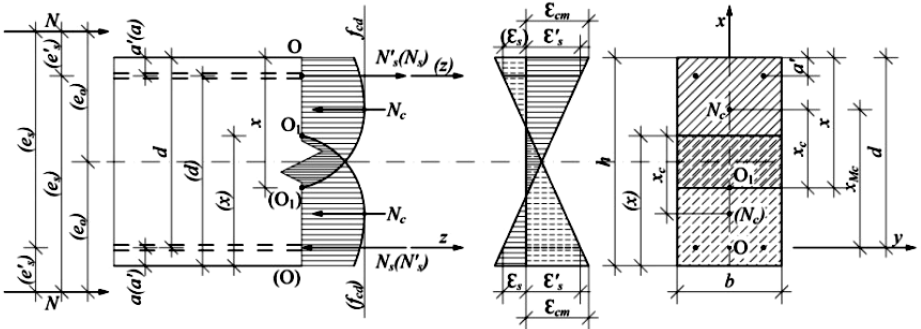


Рис. 1. Розрахункова схема позациентровано стиснутого залізобетонного елемента за дії знакозмінних навантажень при  $x < h$ .

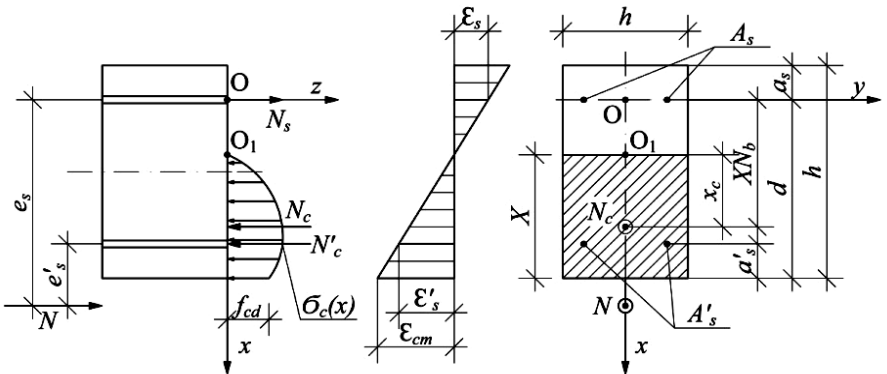


Рис. 2. Розрахункова схема позациентровано стиснутого залізобетонного елемента при однозначному навантаженні.

Рівнодіючі зусиль в бетоні стиснутої зони, розтягнутій і стиснутій арматурі визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} N_c &= \int_0^x \sigma_c(x) b dx \\ N_s &= \sigma_s A_s \\ N'_s &= \sigma'_s A'_s \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

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

$$\sigma_c \eta(\eta) \eta = f_{cd} - \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K-2)\eta}, \quad (4)$$

де  $\eta = \varepsilon / \varepsilon_{cm}$  – змінні значення рівня деформацій бетону,

$K = \varepsilon_{cm} \varepsilon_c / f_{cd} = 1 \dots 4$  – коефіцієнт пружно-пластичності бетону.

Використавши ряд залежностей наведених авторами роботи [4], а саме: функціональний зв'язок  $\eta - x$  в системі координат  $XOY$ , початок в точці  $O_1$  (рис.2), отримано із використанням гіпотези плоских перерізів.

$$\varepsilon_c \eta(x) \eta = \left( \frac{\varepsilon_{cm}}{x} \right) x \rightarrow \eta_\varepsilon(x) = \left( \frac{\eta_\varepsilon}{x} \right) x, \quad (5)$$

$X$  – висота стиснутої зони;

$x$  – координата по осі  $X$ .

Залежність (4) з урахуванням (5) приведемо до рівнянь (1), (2) функції напружень

$$\sigma_c \eta(x) \eta = f_{cd} \left[ K \frac{\eta_{cm} x}{x} - \left( \frac{\eta_{cm} x}{x} \right)^2 \right] / \left[ 1 + (K-2) \frac{\eta_{cm} x}{x} \right], \quad (6)$$

Після інтегрування функцій (6) зусилля в стиснутому бетоні набуде вигляду

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

При умові повного використання стиснутої і розтягнутої арматури  $A'_s$  і  $A_s$  із рівняння (1) і рівності (7) отримаємо, що висота стиснутої зони в стані граничної рівноваги елемента буде:

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

а положення точки прикладання рівнодіючої зусиль  $N_c$  –

$$x_c = \frac{S_c}{N_c} = X \frac{\varphi}{\omega}, \quad (9)$$

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

$\varphi(\eta_{cm} K)$  – коефіцієнт, функціональна залежність якого наведена в (4).

Із аналізу виразів (8) і (9) встановлено, що для обчислення параметрів стиснутої зони  $X$  і  $x_c$ , необхідно визначити  $\eta_\varepsilon$  при якому елемент здатний чинити максимальний опір зовнішньому навантаженню. Для цього авторами роботи [5] пропонується використовувати екстремальний деформаційний критерій міцності у вигляді

$$N(\eta_{\varepsilon m}) = \max[N(\eta_{\varepsilon m})] \text{ або } \frac{\delta N}{\delta \eta_{\varepsilon m}} \Big|_{\eta_{\varepsilon m} = \eta_{\varepsilon u}} = 0. \quad (10)$$

Із (рис.2) видно, що  $X_{Nc} = d - X + x_c$  і підставивши (9) у (2) при  $A'_S + A_S = \min$ , отримаємо залежність

$$N e_S = N'_S (d - a'_S) + N_c \left( d - X + X \frac{\varphi}{\omega} \right) = N'_S (d - a'_S) + (N + f_{yd} A_S) \left[ d - \frac{N + f_{yd} A'_S - f_{yd} A_S}{f_{cd} b} \left( \frac{\omega - \varphi}{\omega^2} \right) \right], \quad (11)$$

Продиференціювавши вираз (11) по параметри  $\eta_{\varepsilon m}$  з урахуванням критерію (10) при умові сприймання елементом максимального навантаження, значення  $\eta_{\varepsilon m}$  знаходимо із виразу

$$\frac{\delta}{\delta \eta_{\varepsilon m}} \left( \frac{\omega - \varphi}{\omega^2} \right) = 0, \quad (12)$$

Використовуючи в подальшому залежності наведені в роботі [4] при умові, що  $\eta_{\varepsilon m} = \eta_{\varepsilon u}$ , де  $\eta_{\varepsilon u}$  – рівень максимальних деформацій стиснутого бетону, при якому досягається максимум несучої здатності.

$$\eta_{\varepsilon m} = 0,261g(K - 0,9) + 1,26, \quad (13)$$

Визначивши із (13) значення рівня деформацій  $\eta_{\varepsilon u}$  рівняння рівноваги (1) і (2) для загального випадку розрахунку несучої здатності позациентрово стиснутих елементів при плоскому деформування мають вигляд:

$$N_u = f_{cd} b X \omega + \sigma'_S A'_S - \sigma_S A_S, \quad (14)$$

$$N_u \cdot e_S = \sigma'_S A'_S (d - a'_S) + f_{cd} b X \omega \left[ d - X \left( 1 - \frac{\varphi}{\omega} \right) \right], \quad (15)$$

В цих рівняннях невідомими є величини  $N_u$  і  $X$ . Напруження в арматурі визначаємо за законом Гука з урахуванням того, що зв'язок між координатою  $x$  і деформаціями  $\varepsilon_S$  гіпотезою плоских перерізів (рис.2) виразимо залежностями:

$$\sigma'_s = E_s \frac{X - a'_s}{X} \varepsilon_{cu} \eta_{\varepsilon u}, \quad (16)$$

$$\sigma_s = E_s \frac{d - X}{X} \varepsilon_{cu} \eta_{\varepsilon u}, \quad (17)$$

Підставивши замість  $N_u$  з рівняння (14) в рівняння (15) і врахувавши (16) і (17), отримаємо рівняння для визначення висоти стиснутої зони бетону  $X$

$$f_{cd} b X^2 [X(\varphi - \omega) + (d - e_s)\omega] + A'_s E_s \varepsilon_{cu} \eta_{\varepsilon u} (d - e_s - a'_s) \times \\ \times (X - a'_s) + A_s E_s \varepsilon_{cu} \eta_{\varepsilon u} (d - X) e_s = 0, \quad (18)$$

Визначивши висоту стиснутої зони  $X$  із рівняння (15) знаходимо несучу здатність позacentровано стиснутого елемента при однозначному плоскому навантаженні.

За дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами характер роботи позacentровано стиснутих елементів є подібним, але розвиток деформацій матеріалів в стиснутій і розтягнутій зонах перерізу попеременно, буде суттєво відрізнятися за своїми величинами, порівняно з однозначними навантаженнями. Навіть при експлуатаційних навантаженнях за дії малоциклових знакозмінних навантажень, як показали експериментальні дані, розрахункова міцність бетону на стиск  $f_{cd}$  знижується. Це зумовлено причинами зниження його модуля пружності  $E_{cd}$  за рахунок перерозподілу зусиль в складових бетону після первинного стиску і розтягу, виникнення власних структурних напружень при наступному розвантаженні і розвитку часткової незворотності деформацій повзучості цементного каменю, а також його старіння. Крім того, також впливає утворення і розвиток повздовжніх і поперечних мікротріщин, які порушують суцільність тіла конструкції, знижуючи тим самим характеристики бетону  $f_{cd}$  і  $E_{cd}$ .

На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень роботи позacentровано статичних колон за дії знакозмінних навантажень встановлено коефіцієнт умов роботи  $\gamma_{cyc}$ , значення якого наведені в [6], який вводиться до розрахункової міцності бетону  $f_{cd}$  з урахуванням рівня малоциклових навантажень:

$$\gamma_{cyc} = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_1}, \quad (19)$$

Вплив малоциклових навантажень на міцність стиснутого бетону в роботі [7] пропонують визначати за залежністю:

$$f_{cd_{cyc}} = f_{cd} (1 + 0,483 \eta_{cyc} - 0,556 \eta_{cyc}^2) \quad (20)$$

З урахуванням відповідного коефіцієнта умов роботи за дії знакозмінних навантажень позацентрово стиснутих елементів несучою здатність слід визначати за умовою:

$$N_{\alpha} e_s = \sum_{i=1}^n \sigma'_{si} A'_{si} (d - a_{si}) + f_{cdcy} b X \omega \left[ d - X \left( 1 - \frac{\varphi}{\omega} \right) \right], \quad (21)$$

**Висновок.** В зв'язку з введенням у розрахунок за несучою здатністю позацентрово стиснутих залізобетонних елементів обґрунтованого критерію міцності, за допомогою якого можна обчислювати граничні значення деформацій стиску в бетоні, дозволяє враховувати явище перерозподілу напружень в бетоні стиснутої зони, в тому числі і за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами.

За цією методикою при визначенні несучої здатності позацентрово стиснутих елементів є можливість використовувати максимальні деформативні і міцнісні властивості бетону та більш раціонально армувати такі елементи.

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84\*.-М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989,-80с. 2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009.-К.: Мінрегіонбуд України, 2009.-97с. 3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б.В.2.6-156:2010.-К.: Мінрегіонбуд України, 2011.-118с. 4. 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.-с444-451. 5. Митрофанов В. П. Екстремальний критерій міцності залізобетонних елементів у деформаційній моделі / Митрофанов В. П., Павліков А. М. // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць.-К.:НДІБК, 2005.Вип.62.-с.205-213. 6. Алексієв І. І. Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових знакозмінних навантажень: Дис...канд. техн. Наук: 05.23.01.-Рівне, 2011.-114с. 7. Бабич Є. М. Міцність і деформативність важкого бетону при мало цикловому стисненні / Бабич Є. М., Ільчук Н. І. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць.-Рівне: Вид-во УДУВГП, 2003.-Вип.9.-с.116-123.