

**ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОЛІНІЙНИХ ДІАГРАМ СТАНУ БЕТОНУ І АРМАТУРИ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗА ДЕЙСТВИЯ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ БЕТОНА И АРМАТУРЫ**

**DEFINITION OF CARRYING CAPACITY COMPRESSED NONCENTRAL ELEMENT BY ALTERNATING LOADS ACTION WITH CONCRETE TWO-LINE PHASE DIAGRAM AND FITTINGS**

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

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

**Masiuk G.H., candidate of technical sciences, professor, Aleksyievets I.I., candidate of technical sciences, assistant** (National university of water management and nature resources use)

**Наведені пропозиції щодо визначення інженерними розрахунками несучої здатності позацентрово стиснутих елементів з симетричним армуванням за дії знакозмінних навантажень на основі деформаційної моделі з використанням дволінійних діаграм стану бетону і арматури.**

**Приведенные предложения по определению инженерными расчетами несущей способности внецентренно сжатых элементов с симметричным армированием за действия знакопеременных нагрузок на основе деформационной модели с использованием двухлинейный диаграмм состояния бетона и арматуры.**

**These proposals for engineering calculations determine the carrying capacity of compressed noncentral elements of symmetric reinforcement for the actions of alternating loads based deformation model using a two-line diagrams of concrete and reinforcement.**

**Ключові слова:**

Залізобетон, позацентровий стиск, несуча здатність.  
 Железобетон, внецентренное сжатие, несущая способность.  
 Reinforced concrete, noncentral compression, bearing capacity.

**Вступ.** У відповідності з діючими нормативними документами [1,2] визначення несучої здатності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів на основі нелінійної деформаційної моделі рекомендується здійснювати з використанням дволінійних діаграм деформування матеріалів. Виконати такі розрахунки без спеціальних програм з використанням ЕОМ досить складно навіть при однозначних статичних навантаженнях. Крім того, реалізація даного методу розрахунку ускладнюється ще й тим, що в діючих нормах для позацентрово стиснутих елементів не наведено чітких залежностей визначення форм рівноваги перерізу. Що стосується впливу мало циклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами, то в розрахунках діючих норм [1,2] жодним чином це не відображено. Хоча, на основі експериментально-теоретичних досліджень, залежності визначення несучої здатності можна отримати використовуючи нормативну методику. Отже, розробка інженерної методики визначення несучої здатності позацентрово стиснутих елементів за дії знакозмінних навантажень на основі положень діючої нормативної бази є задачею актуальною.

**Мета і задачі:** отримання аналітичних залежностей для рорахунку несучої здатності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів за дії мало циклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами з використанням деформаційної моделі.

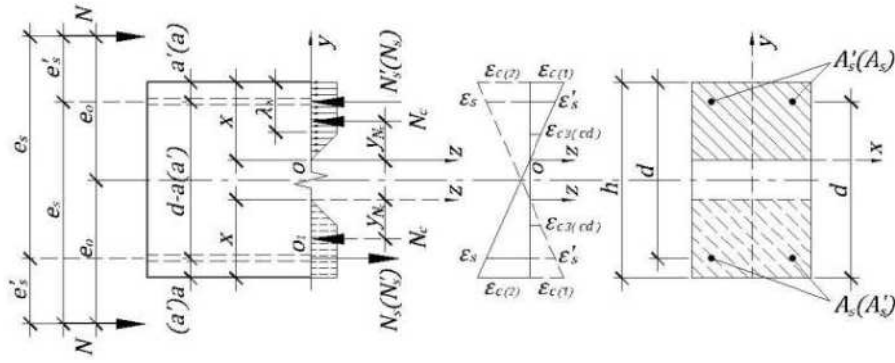
**Основна частина.** На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень запропоновано для вирішення поставленої задачі розглянути позацентрово-стиснутий залізобетонний елемент прямокутного профілю з симетричним армуванням в стані граничної рівноваги за дії знакозмінних навантажень (рис.1).

Визначення несучої здатності позацентрово стиснутих елементів при однозначному статичному навантаженні виконується з використанням передумов прийнятих у діючих нормах [1,2]. Розрахункові формули в цьому випадку виводились на основі дволінійних діаграм деформування бетону і арматури. Використовуючи розрахункову схему (рис.1) при однозначному навантаженні загальні рівняння рівноваги мають вигляд:

$$\sum X = 0 \quad N = N_c + N_s' - N_s \quad (1)$$

$$\sum M_x = 0 \quad N e = N_c (d - x + \gamma_{Nc}) + N_s' (d - a) \quad (2)$$

де  $N$  – поздовжня сила від зовнішнього навантаження;



$M_s, M_s^l, M_s^r$  – рівнодіючі зусилля (напружень) відповідно в бетоні, стиснутій та розтягнутій арматурі;

$e_0, x, y_{N_1}, y_{N_2}$  – відповідно робоча висота перерізу, висота стиснутої зони поперечного перерізу, відстань від нейтральної лінії до точки рівнодіючої зусилля  $M_s^l$ ;

$e_0^l$  – відстань від стиснутої грані перерізу до центру ваги стиснутої арматури;

$e_0^r$  – ексцентриситет прикладання зовнішньої поздовжньої сили відносно центра ваги перерізу;

$e_0 = e_0^l + \frac{h}{2} - a$  – ексцентриситет сили  $N$  відносно точки прикладання рівнодіючої  $M_s^l$ ;

$e_0^l = \frac{h}{2} - a^l$  – ексцентриситет сили  $N$  відносно точки прикладання рівнодіючої  $M_s^r$ ;

Визначення при однозначному статичному навантаженні рівнодіючої  $M_s^l$  напружень у бетоні стиснутої зони та координати  $y_{N_1}$  точки її прикладання при використанні дволінійної епюри напружень в бетоні стиснутої зони для прямокутного перерізу було запропоновано авторами роботи [3] наступними виразами:

$$M_s^l = f_{cs} b x_{N_1}^2 \quad (3)$$

$$y_{N_1} = x_{N_1} \frac{f_{cs}}{f_s} \quad (4)$$

Рис. 1 Розрахункова схема напружень і деформацій у нормальному перерізі

Вище наведені параметри і їх визначення за виразами (3)...(7) справедливі лише для визначення несучої здатності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів за дії однозначних статичних навантажень. Але в будівлях і спорудах ряд залізобетонних конструкцій, що працюють на позацентровій стиск, в процесі експлуатації зазнають повторних і знакозмінних навантажень, тобто працюють на дію стискаючих зусиль із знакозмінними ексцентриситетами. До таких конструкцій слід віднести колони одно- і багато поверхових промислових будівель, стінки прямокутних резервуарів, опори ЛЕП, опори стояків потужних вітрогенераторів, елементи решітки безрозкісних ферм, елементи будівель в аварійних ситуаціях і інші. Повторні і знакозмінні навантаження в конструкціях можуть бути викликані технологічними, вітровими, сейсмічними, температурновологісними і іншими впливами.

В результаті дії мало циклових повторних і знакозмінних навантажень на конструкції, навіть при експлуатаційних рівнях, фізико-механічні характеристики матеріалів зазнають змін порівняно з однозначними навантаженнями. Зниження розрахункової міцності бетону на стиск  $R_{bt}$  зумовлене причинами зниження його модуля пружності  $E_{bt}$  за рахунок перерозподілу зусиль в складових бетону при первинному стиску і розтягу і виникнення власних структурних напружень при наступному розвантаженні, розвитком часткової незворотності деформацій повзучості цементного каменю і його старіння. Також впливає утворення і розвиток поздовжніх і поперечних мікротріщин, які порушують суцільність тіла конструкції, знижуючи тим самим характеристики бетону  $R_{bt}$  і  $E_{bt}$ .

На основі проведених експериментально теоретичних досліджень роботи позацентрово стиснутих елементів за дії знакозмінних навантажень нами встановлений коефіцієнт умов роботи  $\gamma_{cyc}$ , значення якого наведені в роботі [5], який вводиться до розрахункової міцності бетону  $R_{bt}$  з урахуванням рівня мало циклових навантажень:

$$\gamma_{cyc} = \frac{R_{bt}}{R_{bt}} = 1 \quad (8)$$

Вплив малоциклових навантажень на міцність стиснутого бетону в роботі [6] продовжує визначати за залежністю:

ривноваги перерізу) виконується залежно від висоти  $x$  стиснутої зони визначається із (1) за умови  $v_t = f_{ct}$  та  $v_t^* = f_{ct}^*$ , висота стиснутої зони визначається із (1) за умови  $v_t = f_{ct}$  та  $v_t^* = f_{ct}^*$ , висота стиснутої зони визначається із (1) за умови  $v_t = f_{ct}$  та  $v_t^* = f_{ct}^*$ .

$$\sigma_{ct} = \frac{N}{A_{ct}} = \frac{N}{b \cdot x} \quad (13)$$

Якщо  $\frac{N}{A_{ct}} \leq \sigma_{ct}$ , то несучу здатність елемента в нормальному перерізі необхідно визначати за умовою (2) з урахуванням умов (3), (5) і (6), тобто вираз буде мати вигляд:

$$M_e = \sigma_{ct} f_{ct} b x \left[ d - \frac{x}{2} \right] + f_{ct} A_{ct}^* (d - \alpha') \quad (14)$$

де  $\sigma_{ct} = \frac{N}{A_{ct}}$  – кривизна вигнутої осі в перерізі.

Гранична відносна висота стиснутої зони бетону, використовуючи гіпотезу плоских перерізів, визначається за умовою

$$\xi_{ct} = \frac{1}{1 + \frac{f_{ct} d}{E_{ct} A_{ct}^* E_s}} \quad (15)$$

де  $E_{ct}$  – модуль пружності бетону;

$\xi_{ct}$  – гранична деформація бетону на стиск, при досягненні ним міцності  $f_{ct}$  за дволінійною діаграмою.

Відомо, що згідно з [1] критерієм вичерпання міцності залізобетонного елемента є досягнення в найбільш стиснутій фібрі бетону граничних значень відносних деформацій стиску. Враховуючи вище сказане приймаємо при розрахунках, що

$$\epsilon_{ct}(x) = \xi_{ct} \sigma_{ct} \quad (16)$$

Виходячи з цього, параметри наведені в виразах (5)...(7) і (13)  $\sigma_{ct}$ ,  $\xi_{ct}$ ,  $\epsilon_{ct}$  залежать тільки від значень відносних граничних деформацій стиску бетону  $\epsilon_{ct}(x)$ , які про нормовані в [1], табл. 3.1 для кожного класу бетону. За формулами (5)...(7) і (13) визначені значення параметрів  $\sigma_{ct}$ ,  $\xi_{ct}$ ,  $\epsilon_{ct}$  для кожного класу бетону, які наведені в роботі [4] (табл. 1).

Для позачентрово стиснутих залізобетонних елементів, коли  $\sigma_{ct} = E_{ct} \epsilon_{ct} < f_{ct}$  (напруження в розтягнутій арматурі менші

розрахункових,  $\frac{M}{A} \geq \xi_{\text{доп}}$ , то використовуючи формулу (14) висоту стиснутої зони  $\xi$  слід визначати з рівняння (1) з урахуванням умови (10), яке матиме вигляд:

$$N = \gamma_{\text{сф}} f_{\text{сф}} \xi_{\text{сф}} b h_0 + f_{\text{тв}} A'_s - \sigma_s \xi_{\text{сф}} A_0 \quad (17)$$

де деформації в розтягнутій арматурі з врахуванням гіпотези плоских перерізів будуть:

$$\sigma_s = \frac{\xi_{\text{сф}}(h_0 - \xi_{\text{сф}}) \epsilon_{\text{сф}}}{\xi_{\text{сф}} \xi} \quad (18)$$

Розв'язання рівняння (17) з урахуванням (18) отримаємо, що висота  $\xi_{\text{сф}} = \xi_{\text{сф}}^0$ , де

$$\xi = \frac{\sigma_s - \sigma'_s - \sigma_c}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_s - \sigma'_s - \sigma_c}{\alpha}\right)^2 + \omega_s}, \quad \text{де} \quad (19)$$

$$\omega_s = \frac{N}{\gamma_{\text{сф}} f_{\text{сф}} \xi_{\text{сф}} b h_0}; \quad \sigma'_s = \frac{f_{\text{тв}} A'_s}{\gamma_{\text{сф}} f_{\text{сф}} \xi_{\text{сф}} b h_0}; \quad \sigma_c = \frac{f_{\text{тв}} A_0}{\gamma_{\text{сф}} f_{\text{сф}} \xi_{\text{сф}} b h_0}$$

Таким чином, несучу здатність позацентровано стиснутого залізобетонного елемента при  $\frac{M}{A} \geq \xi_{\text{доп}}$  за дії знакозмінних малоциклових навантажень необхідно визначати за умовою (17), використовуючи значення  $\xi$ , обчислене із застосуванням (19). При цьому умова  $\xi \leq \xi_{\text{доп}}$  повинна задовольнятися.

**Висновок.** Методика визначення несучої здатності позацентровано стиснутих елементів за дії знакозмінних малоциклових навантажень з урахуванням нелінійних властивостей бетону та відповідно до вимог діючих норм [1,2] можна використовувати в інженерних розрахунках.

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Мінірегіонбуд України, 2009. –97с. 2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. – К.: Мінірегіонбуд України, 2011.–118с. 3. Павліков А.М. Розв'язання задач міцності залізобетонних елементів у нормальному перерізі на основі дволінійних діаграм стану бетону та арматури / А.М. Павліков, О.В. Бойко // Галузеве машинобудування, будівництво: Збірник наукових праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – Випуск 2(27). – с.18–22. 4. Павліков А.М. Перевірка міцності позацентровано стиснутих залізобетонних елементів на основі тривілінійної