

УДК 624.012

**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ПОЗАЦЕНТРОВО-СТИСНУТИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ
НАВАНТАЖЕНЬ ІЗ ЗНАКОЗМІННИМИ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ**

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ВНЕЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ
МАЛОЦИКЛОВИХ НАГРУЗОК ИЗ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМИ
ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ**

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

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

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

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

**Наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень
роботи позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів за дії
малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами**

**Приведено результаты экспериментальных и теоретических
исследований работы внецентренно-сжатых железобетонных элементов
при действии малоцикловых нагрузок из знакопеременными
эксцентриситетами**

**There are given the results of experimental and theoretical researches of
reinforce-concrete is reflected off-center-compressed work under the actions
of the low-cycle loadings with alternating eccentricities**

Ключові слова:

Позацентривий стиск, знакозмінні навантаження, стиск, переріз.

Внецентренное сжатие, знакопеременные нагрузки, сжатие, сечение.

Eccentric-compression, alternating loadings, pressing, section.

Вступ. На сьогодні розрахунок позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів ведеться на основі нелінійної деформаційної моделі за нормативними документами [2, 3], проте вплив малоциклових навантажень на міцність таких елементів не врахована жодним чином. Врахування таких факторів впливу обумовлено в формулі (3.6) [2], де сказано, що в величину розрахункової міцності бетону на стиск можна вводити коефіцієнт, який враховує вплив на міцність бетону тривалості дії та способу прикладання навантаження. При цьому величина цього коефіцієнта може коливатися в межах $0,8 \dots 1,0$, проте рекомендованим значенням є $1,0$. Необґрунтованість прийняття цього коефіцієнта зумовлено тим, що недостатньо експериментальних даних про роботу позацентрово-стиснутих елементів за дії малоциклових навантажень. Деякі пропозиції, щодо вдосконалення методики розрахунку позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів наведено в роботах [8-10]. В останні роки питаннями розрахунку позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів займалися такі науковці, як: Павліков А.М., Барашиков А.Я., Бамбура А.М., Кочкар'єв Д.В.

Метою досліджень є отримання значень несучої здатності позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів, які працюють в умовах малоциклових знакозмінних навантажень, за новими нормативними документами [2, 3] та порівняння їх з нормами [1], а також зі значеннями отриманими експериментальним шляхом.

Методика досліджень. Конструкція, матеріали, виготовлення експериментальних зразків, схема дослідної установки, режими завантаження та розміщення приладів для вимірювання деформацій бетону та арматури наведена в [4-7]. На рис. 1 детально наведені режими випробування залізобетонних колон на малоциклові навантаження.

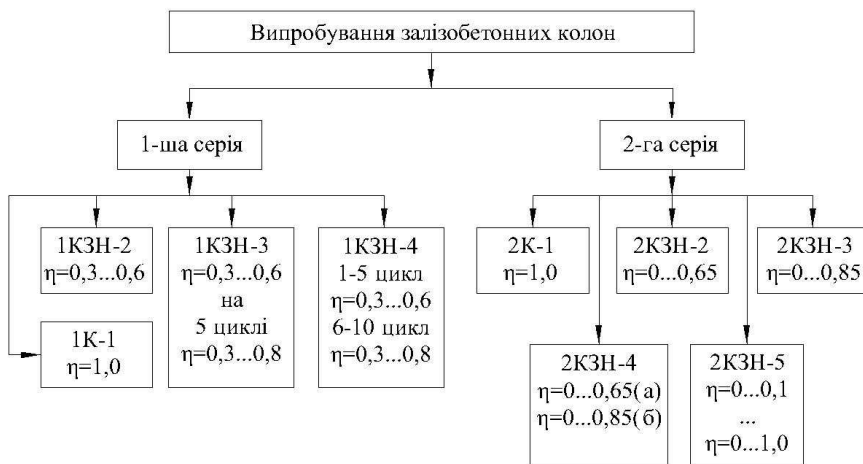


Рис. 1. Режими випробування колон

Виклад основного матеріалу. Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями розглядаємо роботу позациентрово-стиснутих колон прямокутного перерізу із симетричним армуванням $A_s=A_{sc}$. Оскільки ексцентриситет прикладання стискувочої сили знаходиться за межами перерізу колони, приймаємо розрахункову модель коли частина перерізу колони стиснута, а частина розтягнута (друга форма рівноваги), узагальнена розрахункова модель наведена на рис. 2.

За рівняння рівноваги приймаємо суму проєкцій всіх сил на вісь z та суму моментів всіх сил відносно точки O_I .

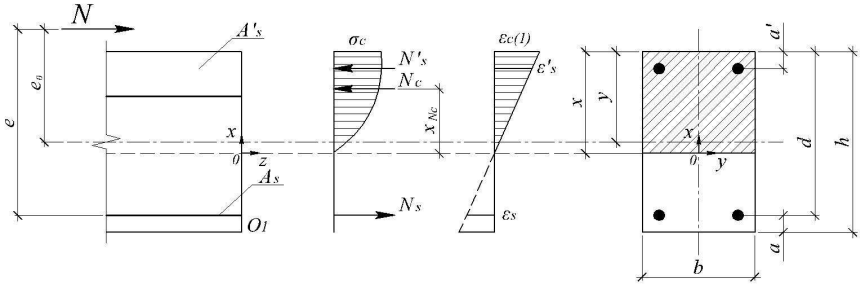


Рис. 2. Розрахункова модель позациентрово-стиснутого елемента

На основі розрахункової моделі (рис. 2) загальні рівняння рівноваги будуть мати вигляд:

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

$$\sum MO_I = 0; N'_s(d - a') + N_c(d - x + x_{Nc}) - N \cdot e = 0; \quad (2)$$

де N – поздовжня сила від зовнішнього навантаження;

N_s, N'_s, N_c – рівнодійні напружень відповідно в розтягнутій та стиснутій арматурі та в бетоні;

d, x, x_{Nc} – відповідно робоча висота, висота стиснутої зони поперечного перерізу, відстань від нейтральної лінії до точки прикладання зусилля N_c ;

a' – відстань від стиснутої грані до центру ваги стиснутої арматури;

$e = e_0 + h/2 - a$ – ексцентриситет сили N відносно точки прикладання рівнодійної N_s .

Вихідні дані для розрахунку згідно [2, 3]: параметри перерізу – $b \times h = 0,1 \times 0,16$ м; початковий ексцентриситет прикладання навантаження – $e_0 = 0,1$ м; параметри діаграми деформування бетону C20/25 – $f_{cd} = 14,5$ МПа, $\varepsilon_{cu1} = 0,00344$, $\varepsilon_{c1} = 0,00165$; коефіцієнти полінома a_k приймаємо з додатку Д [2] в залежності від класу бетону на

стиск ($a_1 = 2,8785$, $a_2 = -3,1586$, $a_3 = 1,7454$, $a_4 = -0,52904$,
 $a_5 = 0,06374$); параметри армування $A_s = 0,000226 \text{ м}^2$,
 $R_s = 365 \text{ МПа}$, $E_s = 210000 \text{ МПа}$.

В подальшому користуючись алгоритмом рішення системи нелінійних рівнянь рівноваги позакентрово-стиснутого розрахункового перерізу за деформаційним методом (додаток А [3]), будемо криву стану перерізу аж до руйнування бетону.

1. На першому кроці задаємося величинами деформацій $\varepsilon_{c(1)} = 0,1\varepsilon_{cu1} = 0,000344$, $\varepsilon_{c(2)}^0 = 0$.

2. Підраховуємо величини кривизни вигнутої осі в перерізі та висоти стиснутої зони бетону:

$$\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{(\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)})}{h} = 0,00215 \text{ м}^{-1}, \quad x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\chi} = 0,16 \text{ м}.$$

3. Визначаємо зусилля в перерізі за формулою для першої форми рівноваги

$$\frac{bf_{cd}}{\chi} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}} \right) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} = N = 7,6 \text{ кН}. \quad (3)$$

4. Визначену величину зусилля підставляємо в рівняння рівноваги (4)

$$\frac{bf_{cd}}{\chi} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}} \right) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) - M = -0,0035 < 0, \quad (4)$$

оскільки ліва частина менша за нуль, це свідчить про правильність вибору розрахункової моделі та наявності другої форми рівноваги, тобто частина перерізу розтягнута.

Для другої форми рівноваги згідно [3], рівняння рівноваги в розгорнутому вигляді мають вигляд:

$$\frac{bf_{cd}}{\chi} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \gamma^{k+1} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} = N, \quad (5)$$

$$\frac{bf_{cd}}{\chi} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \gamma^{k+2} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) - M = 0. \quad (6)$$

При реалізації цієї форми рівноваги, зберігаючи значення деформацій $\varepsilon_{c(1)} = 0,1\varepsilon_{cu1} = 0,000344$, задаємось деформаціями на розтягнутій грані перерізу $\varepsilon_{c(2)}^1 = \varepsilon_{c(2)}^0 - 0,1\varepsilon_{cu1} = -0,0001307$ та визначаємо зусилля, яке може сприйняти переріз, за формулою (5).

Таким чином отримуємо першу точку на діаграмі стану перерізу (рис. 3). Для отримання наступних точок діаграми стану перерізу збільшуємо деформації на більш стиснутій грані ще на величину $\Delta \varepsilon_{c(1)} = 0,1 \varepsilon_{cu1}$, як правило при такому збільшенні отримують результати з достатньої точністю.

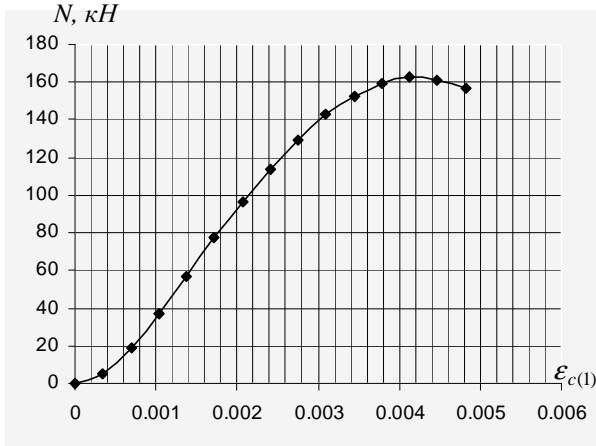


Рис. 3. Діаграма «нормальна сила – деформації стиснутої грані» для досліджуваних позациентрово-стиснутих елементів

Величина N , яка відповідає максимуму на діаграмі стану перерізу “ $N - \varepsilon_{c(1)}$ ” і буде величиною несучої здатності залізобетонного перерізу даного елементу.

Як видно з графіка деформування, руйнування стиснутого бетону буде відбуватися при досягненні поздовжньої сили $N = 162,8 \text{ кН}$. Слід зазначити, що в даному алгоритмі розрахунку не врахована гнучкість елементу, яка повинна суттєво зменшити несучу здатність елемента. В нормах [3] передбачено введення коефіцієнта, який враховує гнучкість стиснутого бетону, але як його обрахувати не наведено.

За нормами [1] розрахунок міцності позациентрово-стиснутих елементів значно простіший і, задаючись тими ж вихідними даними для розрахунку, отримуємо значення поздовжньої сили $N_{adm} = 143 \text{ кН}$.

В результаті проведення експериментальних досліджень [4, 5] вище розрахованих позациентрово-стиснутих колон було зафіксовано руйнування елементів, а саме виколювання бетону стиснутої зони, з досягненням поздовжньої сили $N = 120 \text{ кН}$. Крім того на основі аналізу напружено-деформованого стану перерізу експериментальних даних позациентрово-стиснутих елементів за дії малоциклових 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.

Висновки. Враховуючи вище сказане, при визначенні несучої здатності, необхідно враховувати дане явище. Слід вводити коефіцієнти умов роботи γ_c і γ_s до розрахункових характеристик матеріалів. Ці коефіцієнти умов роботи знаходять в межах – 0,95...0,8 в залежності від режимів роботи конструкцій та способу прикладання навантаження. Введення у розрахунки міцності позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів коефіцієнтів умов роботи матеріалів, дозволяє врахувати явище перерозподілу напружень у бетоні стиснутої зони, в тому числі і за дії малоциклових навантажень із знаковмінними ексцентриситетами.

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.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с. **4.** Масюк Г.Х. Методика експериментальних досліджень міцності, деформативності та тріщиностійкості позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових знаковмінних навантажень / Г.Х. Масюк, І.І. Алексієвць // Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. – Рівне 2008. – Випуск 4(44). – С. 122-127. **5.** Масюк Г.Х. Результати експериментальних досліджень несучої здатності та тріщиностійкості позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень із знаковмінними ексцентриситетами / Г.Х. Масюк, І.І. Алексієвць // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди – Рівне 2010. – №20. – С. 252-257. **6.** Масюк Г.Х. Несуча здатність та тріщиностійкість позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень із знаковмінними ексцентриситетами / Г.Х. Масюк, І.І. Алексієвць / «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону». Київ, ДП НДІБК, 2011. – Випуск 74, книга 2 – С. 667 – 673. **7.** Масюк Г.Х. Аналіз деформування бетону та арматури в позацентрово-стиснутих залізобетонних елементах при дії малоциклових знаковмінних навантажень / Г.Х. Масюк, І.І. Алексієвць / «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону». Київ, ДП НДІБК, 2013. – Випуск 78, книга 2 – С. 493 – 498. **8.** Кочкар'єв Д.В. Практичний розрахунок згинальних залізобетонних елементів за міцністю на основі нелінійного деформування матеріалів / Д.В. Кочкар'єв, В.І. Бабич // Бетон и железобетон в Украине. – 2011. – №5. – С. 22 – 26. **9.** Павліков А.М. Застосування нелінійної деформаційної моделі в розрахунках міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при плоскому та косому деформуванні / А.М. Павліков, О.В. Бойко, Д.Ф. Федоров // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 444 – 451. **10.** Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії : монографія / А.М. Павліков. – Полтава, 2007. – 320 с.