

УДК 624.012

**ВПЛИВ МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ШИРИНУ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**ВЛИЯНИЕ МАЛОЦИКЛОВЫХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК НА ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**INFLUENCE OF THE LOW-CYCLE ALTERNATING LOADINGS ON THE CRACK WIDTH IN THE ECCENTRIC COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

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

**Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Алексеевєц И.И., асистент, Алексеевєц В.И., к.т.н., ст. препод. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ривне)**

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

**Наведено результати експериментальних досліджень роботи позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами та їх вплив на тріщиноутворення і ширину їх розкриття**

**Наведено результати експериментальних досліджень роботи внецентренно сжатых железобетонных элементов при действии малоцикловых нагрузок со знакопеременными эксцентриситетами и их влияние на трещинообразование и ширину их раскрытия**

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

**Ключові слова:**

Позацентричний стиск, знакозмінні навантаження, стиск, тріщина  
Внецентренное сжатие, знакопеременные нагрузки, сжатие, трещина.  
Eccentric-compression, alternating loadings, pressing, crack.

**Вступ.** Розрахунок ширини розкриття тріщин позацентрово стиснутих залізобетонних елементів можна вести за нормативними документами [2, 3], проте в даній методиці розрахунку вплив малоциклових навантажень на тріщиностійкість таких елементів не врахована жодним чином. В останні роки питаннями розрахунку позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів, в тому числі й розрахунками за тріщиностійкістю, займалися такі науковці, як: Павліков А.М., Барашиков А.Я., Бамбура А.М., Бабиц Є.М., Кочкар'єв Д.В.

**Метою досліджень** є отримання значень ширини розкриття тріщин позацентрово-стиснутих залізобетонних елементів, які працюють в умовах малоциклових знакозмінних навантажень, за новими нормативними документами [2, 3] та порівняння їх зі значеннями отриманими експериментальним шляхом.

**Методика досліджень.** Конструкція, матеріали, виготовлення експериментальних зразків, схема дослідної установки, режими завантаження та розміщення приладів для вимірювання деформацій бетону наведена в матеріалах [4-6]. На рис. 1 наведені режими випробування залізобетонних колон на малоциклові знакозмінні навантаження.

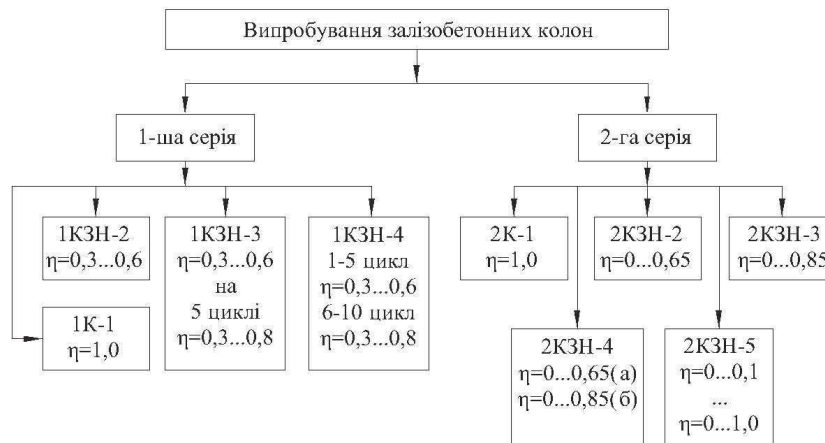


Рис. 1. Режими випробування колон

**Виклад основного матеріалу.** Для порівняння ширини розкриття експериментально зафіксованих тріщин, визначимо їхню ширину розкриття за діючими нормативними документами.

Згідно [2, 3] ширину розкриття тріщин визначаємо за виразом

$$w_k = s_{r,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \quad (1)$$

де  $s_{r,\max}$  – максимальний крок тріщин;

$\varepsilon_{sm}$  – середні деформації в арматурі;

$\varepsilon_{cm}$  – середні деформації бетону між тріщинами.

Ширина розкриття тріщин обмежується діючими нормативними документами, з урахуванням функціонального характеру конструкцій їх естетичного вигляду та можливих додаткових витрат на обмеження тріщиноутворення. Рекомендовані величини ширини розкриття  $w_{\max}$  залежать від класу бетону і умов експлуатації конструкцій в залежності від характеристик навколишнього середовища і мінімального класу бетону за міцністю на стиск. Для нашого випадку табл. 5.1 [3]

$w_{\max} = 0,3 \text{ мм}$ .

Різниця  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  можна визначати за наступним виразом

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (2)$$

де  $\sigma_s$  – напруження у розтягнутій арматурі в перерізі між тріщинами;

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}};$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}};$$

$A_{c,eff}$  – фактична площа розтягнутого бетону, що оточує арматуру, на висоті  $h_{c,eff}$ , де  $h_{c,eff}$  – менше із значень  $2,5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  або  $h/2$ ;

$k_t$  – коефіцієнт, що залежить від тривалості навантаження:  $k_t = 0,6$  для короткочасного навантаження,  $k_t = 0,4$  для тривалого навантаження;

$f_{ct,eff}$  – середня величина міцності бетону на розтяг в момент часу, коли очікується поява тріщин,  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ , якщо тріщини з'являються пізніше 28 діб.

Оскільки, в нашому випадку, відстань між зчепленою арматурою в розтягнутій зоні становить 60 мм, тобто перевищує значення  $5(c + \varnothing/2)$ , максимальний крок тріщин можна визначити за виразом [3]

$$s_{r,\max} = 1,3(h - x) \quad (3)$$

де  $c$  – захисний шар бетону для поздовжньої арматури;

$\varnothing$  – діаметр стержня;

$h$  – висота перерізу колони;

$x$  – висота стиснутої зони бетону.

**Вихідні дані для розрахунку.** Визначимо теоретично ширину розкриття тріщин в колонах, які були випробувані експериментально, на прикладі колони першої серії 1КЗН-2 та другої серії 2КЗН-3, які випробовувались на повторні знакозмінні навантаження в режимі  $\eta=0,3-0,6$  та  $\eta=0-0,85$  відповідно. Розміри поперечного перерізу колон  $100 \times 160$  ( $h$ ), армована чотирма стержнями  $\varnothing 12$  А400С.

Визначаємо максимальний крок тріщин

$$s_{r,\max} = 1,3(h - x) = 1,3 \cdot (16 - 11,6) = 5,72 \text{ см.}$$

Різниця  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ :

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{C16/20} &= \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = \\ &= \frac{400 - 0,4 \frac{1,9}{1,54} (1 + 7 \cdot 1,54)}{2,1 \cdot 10^5} = \\ &= 0,00188 > 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,6 \cdot \frac{400}{2,1 \cdot 10^5} = 0,00114. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{C20/25} &= \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = \\
&= \frac{400 - 0,4 \frac{2,2}{1,54} (1 + 7 \cdot 1,54)}{2,1 \cdot 10^5} = \\
&= 0,00187 > 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,6 \cdot \frac{400}{2,1 \cdot 10^5} = 0,00114.
\end{aligned}$$

Значення середньої міцності бетону на розтяг в момент часу, коли очікується поява тріщин приймаємо  $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,2 \text{ МПа}$  для бетону класу C20/25, та  $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 1,9 \text{ МПа}$  для – C16/20.

Фактична площа розтягнутого бетону:

$$A_{c,eff,1} = 2,5(h - d) = 2,5 \cdot (16 - 1,2) = 37 \text{ см}^2;$$

$$A_{c,eff,2} = (h - x)/3 = (16 - 11,6)/3 = 1,47 \text{ см}^2;$$

$$A_{c,eff,3} = h/2 = 16/2 = 8,0 \text{ см}^2.$$

Остаточно приймаємо найменше з трьох значень  $A_{c,eff} = 1,47 \text{ см}^2$ .

Знаходимо відношення площі розтягнутої арматури та розтягнутого бетону

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2,26}{1,47} = 1,54.$$

Відношення модулів пружності арматури та бетону

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{2,1 \cdot 10^5}{30 \cdot 10^3} = 7,0.$$

Остаточно знаходимо ширину розкриття тріщин:

- для класу бетону C16/20

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 5,72 \cdot 0,00188 = 0,0108 \text{ см} =$$

$$= 0,11 \text{ мм} < w_{max} = 0,3 \text{ мм},$$

- для класу бетону C20/25

$$w_k = s_{r,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 5,72 \cdot 0,00187 = 0,0107 \text{ см} =$$

$$= 0,11 \text{ мм} < w_{\max} = 0,3 \text{ мм}.$$

Тобто ширина розкриття тріщин на перевищують їх граничних значень.

Результати порівняння експериментальних значень ширини розкриття тріщин та визначених за нормами наведені в табл. 1. В цій таблиці значення ширини розкриття тріщин визначених експериментально занесені з шостого циклу малоциклового знакозмінного навантаження, а для колони 2КЗН-5 значення сьомого циклу, що відповідає експлуатаційному рівню навантаження.

Таблиця 1

Порівняння експериментальних значень ширини розкриття тріщин з нормативними

Марка колони	Режим навантаження	$w_{k, \text{сус}}$ , мм	$w_k$ , мм ДБН В.2.6-98:2009	$w_{\max}$ , мм	$\delta$ , $w_{k, \text{сус}} / w_k$ %
1	2	3	4	5	6
1КЗН-2	0,3-0,6	0,16	0,11	0,3	45,5
1КЗН-3	0,3-0,6 0,3-0,8 (5 цикл)	0,17			54,5
1КЗН-4	0,3-0,6 (1-5 цикл) 0,3-0,8 (6-10 цикли)	0,22			100
2КЗН-2	0-0,65	0,18	0,11	0,3	63,6
2КЗН-3	0-0,85	0,24			118,2
2КЗН-4	0-0,65 (а) 0-0,85 (б)	0,25			127,3
2КЗН-5	0-0,1 ... 0-1,0	0,19			72,7

в табл. 1

$w_{k, \text{сус}}$  – ширина розкриття тріщин, визначена експериментально;

$w_k$  – ширина розкриття тріщин, визначена за нормами [46, 48];

$w_{\max}$  – максимальна допустима ширина розкриття тріщин, обумовлена нормами [2, 3].

Малоциклові знакозмінні навантаження суттєво впливають на ширину розкриття тріщин в позакентрово стиснутих залізобетонних елементах. Зокрема при рівнях навантажень, що не перевищують або близькі до експлуатаційних рівнів  $\eta=0,6\dots 0,65$ , ширина розкриття тріщин

збільшується на 45,5%...63,6%, при більш високих рівнях навантажень, аж до  $\eta=0,85$ , ширина розкриття тріщин збільшується практично в два рази, та становить 100%...127,3%, в порівнянні з шириною розкриття тріщин визначених за нормативними документами [2, 3]. Проте слід відмітити, що у всіх випадках ширина розкриття тріщин на перевищує їхніх граничних значень. Перевищення ширини розкриття тріщин відбувалося в момент близький до руйнування, тобто при довантаженні колон на одинадцятому циклі завантаження.

Аналізуючи отримані експериментальні дані, можна стверджувати, що вплив малоциклових знакозмінних навантажень на ширину розкриття тріщин необхідно враховувати з коефіцієнтом  $\gamma_{w,cyc}$ , який буде відображати реальну роботу конструкцій при таких навантаженнях. Тоді формулу (1) можна представити у вигляді

$$w_k = \gamma_{w,cyc} s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) . \quad (4)$$

Для експериментальних позацикрово стиснутих елементів, коефіцієнт  $\gamma_{w,cyc}$ , потрібно приймати: при навантаженнях на верхніх рівнях  $\eta=0,6...0,65 - \gamma_{w,cyc} = 1,6$ , при  $\eta=0,8...0,85 - \gamma_{w,cyc} = 2,0$ .

**Висновки:** Малоциклові знакозмінні навантаження суттєво впливають на ширину розкриття тріщин, збільшуючи їх, що необхідно враховувати при визначенні ширини розкриття тріщин для конструкцій, що піддаються малоцикловим знакозмінним навантаженням.

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 позацикрово-стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових знакозмінних 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 позацикрово-стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами / Г.Х. Масюк, І.І. Алексієвць // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди - Рівне 2010. - №20. - С. 252-257. 6. Масюк Г.Х. Несуча здатність та тріщиностійкість позацикрово-стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами / Г.Х. Масюк, І.І. Алексієвць / «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону». Київ, ДП НДІБК, 2011. - Випуск 74, книга 2 - С. 667 - 673.