

## УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ГНУЧКОСТІ НА РОБОТУ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН

**Хомко М.Д., магістрант**

*Науковий керівник – Клименко Є.В., д.т.н., проф. (кафедра Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури)*

**Анотація.** Розглядаються пошкоджені в процесі експлуатації залізобетонні колони з найбільше поширене пошкодження у вигляді відсутності частини перерізу бетону на певній (середній по висоті) частині колони. Розроблений план проведення експерименту. В якості змінних факторів розглядалися: висота пошкодження, кут нахилу фронту пошкодження, висота колони (гнучкість). Проаналізовані експериментальні дані, що характеризують напружено-деформований стан (НДС).

Ключові слова: залізобетонні конструкції, експлуатація, пошкодження, гнучкість, параметри напружено-деформованого стану.

**Актуальність.** Залізобетонні конструкції є одними з найбільш поширеними в практиці будівництва. Це пояснюється, з одного боку, міцністю та довговічністю матеріалу, а з іншої – відносною невеликою вартістю.

Використання все міцніших матеріалів призводить до більш економічних перерізів конструкцій.

В процесі експлуатації усі будівельні конструкції зношуються та втрачають свої експлуатаційні якості. Конструкції споруд через активний вплив оточуючого середовища (поперемінне заморожування-відтавання, агресивний вплив газів повітря тощо), механічні пошкодження отримують часткові руйнування частини бетонного перерізу та корозію арматури (рис. 1).



Рис. 1. Руйнування бетону в стиснутих елементах

Дефекти та пошкодження знижують (інколи суттєво) показники експлуатаційної придатності [1] конструкцій погіршуючи їх технічний стан та, часто, призводять до аварій будівель та споруд.

Складність виникає, коли фронт пошкодження не є паралельним жодній головній осі непошкодженого перерізу (рис. 2). При цьому має місце складний вид деформацій – косий позакентровий стиск.

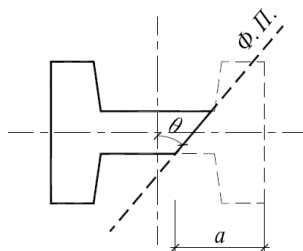


Рис. 2. Пошкодження частини бетонного перерізу

Робота косостиснутих та косозігнутих залізобетонні елементів досить детально вивчена Торяником М.С. та його учнями [2], але в цих дослідженнях косий стиск реалізовувався шляхом створення ексцентриситетів прикладання зовнішнього зусилля у двох площинах.

Роботу залізобетонних елементів, що отримали ексцентриситети у взаємно перпендикулярних площинах, за рахунок несиметричного (відносно головних осей непошкодженого перерізу) руйнування вивчали Клименко Є.В. [3] та його колеги, однак вплив гнучкості на НДС та залишкову несучу здатність пошкоджених колон стиснутих елементів не розглядався.

Обрано підхід врахування прогину окремо в кожній з площин, оскільки в колонах реальних будівельних конструкцій розрахункова довжина колон в площині та з площини, як правило, має різні значення.

На рис. 3 показано розрахункову схему залізобетонної колони із пошкодженням у середині яке не призводить до повороту нейтральної лінії. Нехай, жорсткість колони непошкодженої частини  $D_1$ , пошкодженої  $D_2$ , при цьому  $D_1 > D_2$ . Така задача вирішена за допомогою загально відомої теорії стійкості класичного опору матеріалів.

Диференційні рівняння зігнутої осі для кожної із частин колони:

$$\frac{\partial^2 f_1(x_1)}{\partial x_1^2} + k_1^2 \cdot f_1(x_1) = 0;$$

$$\frac{\partial^2 f_2(x_2)}{\partial x_2^2} + k_2^2 \cdot f_2(x_2) = 0. \quad (1)$$

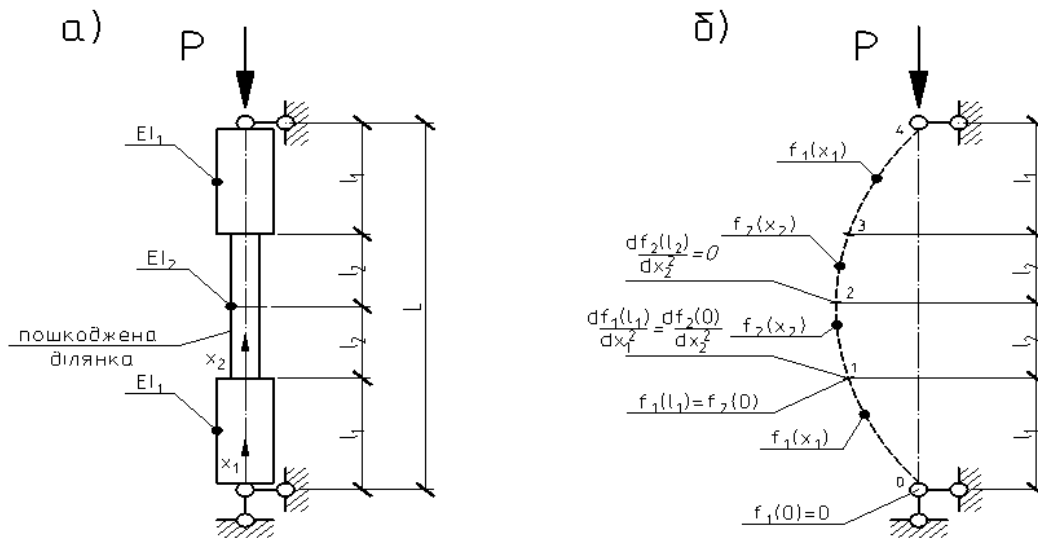


Рис. 3. До визначення критичної сили: а) розрахункова схема; б) граничні умови

В системі (1):  $k_1^2 = \frac{P}{D_1}$ ;  $k_2^2 = \frac{P}{D_2}$ ;  $D_1$ ,  $D_2$  – жорсткість непошкодженої та пошкодженої

частини колон, відповідно;  $P$  – стискаюча сила;  $f_1(x_1)$ ,  $f_2(x_2)$  – функція прогинів для відповідної ділянки;  $x_1$ ,  $x_2$  – відповідні координати точок.

Розв'язок системи (1) прийнято шукати у наступному вигляді:

$$\begin{cases} f_1(x_1) = A \cdot \sin(k_1 \cdot x_1) + B \cdot \cos(k_1 \cdot x_1); \\ f_2(x_2) = C \cdot \sin(k_2 \cdot x_2) + D \cdot \cos(k_2 \cdot x_2). \end{cases} \quad (2)$$

Запишемо крайові умови для стержня (рис. 3):

$$f_1(0) = 0; f_1(l_1) = f_2(0); \frac{\partial f_1(l_1)}{\partial x_1} = \frac{\partial f_2(0)}{\partial x_2}; \frac{\partial f_2(l_2)}{\partial x_2} = 0. \quad (3)$$

Після нескладних перетворень одержимо систему однорідних лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} B = 0; \\ A \cdot k_1 \cdot \cos(k_1 \cdot l_1) = C \cdot k_2; \\ A \cdot \sin(k_1 \cdot l_1) = D; \\ C \cdot \cos(k_2 \cdot l_2) - D \cdot \sin(k_2 \cdot l_2) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Розв'язком є трансцендентне рівняння, яке має наступний вигляд

$$\frac{k_1}{\operatorname{tg}(k_1 \cdot l_1)} = k_2 \cdot \operatorname{tg}(k_2 \cdot l_2). \quad (5)$$

Введемо наступні позначення

$$k_D = \frac{D_2}{D_1}, \quad k_l = \frac{2 \cdot l_2}{l}. \quad (6)$$

Тоді вираз (5) можна звести до наступного рівняння

$$\sqrt{k_D} = \operatorname{tg}\left(\sqrt{\beta} \cdot \left(\frac{1 - k_l}{2}\right)\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\sqrt{\beta} \cdot \frac{k_l}{2 \cdot \sqrt{k_D}}\right). \quad (7)$$

В такому випадку значення критичної сили можна знаходити за виразом

$$P_{cr} = \beta \frac{D_1}{l^2}. \quad (8)$$

Проаналізовані експериментальні дані [4] дозволили апробувати запропонований аналітичний метод розрахунку залишкової несучої здатності залізобетонних колон різної гнучкості, пошкоджених в процесі експлуатації. Він показав задовільну збіжність з експериментальними значеннями руйнуючих зусиль: відсоток варіювання склав 29,7%.

**Висновки та рекомендації.** Проаналізовані експериментальні дані дозволили надати рекомендації щодо створення аналітичного методу розрахунку залишкової несучої здатності залізобетонних колон різної гнучкості, пошкоджених в процесі експлуатації. Ці пропозиції базуються на основних положеннях чинних норм з розрахунку залізобетонних конструкцій та розширюють їх дію на випадок пошкодження конструкцій для будь-якої гнучкості.

### Література:

1. Клименко Є. В. Технічний стан будівель та споруд: монографія / Є. В. Клименко – Одеса: ОДАБА, 2010 р. – 284 с.
2. Торяник М. С. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях / М. С. Торяник, П. Ф. Вахненко, Л. В. Фалеев и др. // – М.: Стройиздат, 1974. – 297 с.
3. Клименко Є.В. Structural reliability and evaluation of current state of construction / Є.В. Клименко, М. Орешкович, В. Задревич, Ж. Кос // Tehnički glasnik. Technical journal / Znanstveno-stručni časopis Sveučilišta Sreber. Scientific professional journal of University Nort. – Varaždin, 2015. –№ 4, pp. 426-431.
4. Klymenko Y. Damaged reinforced concrete columns of various flexibility: research and calculation. Monograph / Y. Klymenko, Z. Kos, I. Grynyova, A. Crnoja // Varaždin, Croatia, 2020. 179 p. ISBN 978-953-7986-17-9.