

## РОБОТА ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ДВОТАВРОВИХ КОЛОН

**Боделан О.Є.**, *зр. ПГС-614 М (н)*

*Наукові керівники – Климченко С.В.*, д.т.н., професор,  
**Максюта О.В.**, магістр, аспірант

*(кафедра Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд,  
ОДАБА)*

**Анотація.** Експериментально досліджена робота залізобетонних стиснутих конструкцій таврового профілю, пошкоджених в процесі експлуатації. Розроблений план проведення експерименту. Проаналізовані експериментальні дані, що характеризують напружено-деформований стан (НДС), та надані рекомендації щодо створення методики визначення залишкової несучої здатності пошкоджених конструкцій.

**Актуальність.** Залізобетон є в даний час та залишиться на перспективу одним із найефективніших матеріалів для виготовлення будівельних конструкцій. Це обумовлено рядом переваг матеріалу, а саме: високою міцністю (особливо на стиск); щільністю (водонепроникністю); зносостійкістю; довговічністю тощо. Поряд з цим, бетон є, практично, місцевим будівельним матеріалом та має відносно невисоку ціну.

Під час виготовлення залізобетонні конструкції, як і усі інші, отримують дефекти (усадочні тріщини, сколи тощо), а в процесі експлуатації – пошкодження [1]. Приклади таких пошкоджень наведені на рис. 1.

Найбільш поширеними пошкодженнями залізобетонних конструкцій є: корозія робочої арматури (зменшення площі її поперечного перерізу), обрив поперечної арматури в стиснутих елемента, що зменшує стійкість стиснутих стержнів, руйнування (механічне чи хімічне) частини поперечного перерізу бетону.

Дефекти та пошкодження знижують (інколи суттєво) показники експлуатаційної придатності [2] конструкцій погіршуючи їх технічний стан та, часто, призводять до аварій будівель та споруд.

Чинні будівельні норми [3] не дають жодних рекомендацій щодо оцінювання залишкової несучої здатності залізобетонних конструкцій, пошкоджених в процесі експлуатації. Якщо пошкодження у вигляді зменшення площі перерізу робочої арматури можна прямо оцінити в

розрахунку, то рекомендації щодо врахування втрати частини двотаврового перерізу відсутні в науковій літературі.



Рис. 1. Пошкодження залізобетонних конструкцій

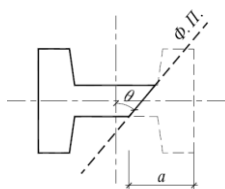


Рис. 2.  
Пошкодження  
частини бетонного  
перерізу

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

Робота косостиснутих та косозігнутих залізобетонні елементів досить детально вивчена Торяником М.С. та його учнями [4, 5], 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. та його колеги [6, 7], однак двотавровий профіль (як найбільш складний та загальний) стиснутих елементів в ракурсі визначення залишкової несучої здатності залізобетонних елементів, пошкоджених в процесі експлуатації, не розглядався.

**Основний текст.** З метою реалізації поставленої задачі розроблений трирівневий трифакторний план експерименту Бокса-Бенкіна.

Основними факторами, що варіювалися, були: глибина пошкодження  $a$ , кут нахилу фронту пошкодження  $\theta$  (рис. 2) та ексцентриситет прикладання зовнішнього зусилля  $e_0$ . Межі варіювання змінних факторів:  $a = 2\text{--}10$  см;  $\theta = 0^\circ\text{--}60^\circ$ ,  $e_0 = 0\text{--}1/4$  h.

Для експериментальних досліджень виготовлено 15 дослідних балок з бетону класу С 25/30, армованих 4 $\phi$ 12 А400 (рис. 3), що мали пошкодження на 1/3 висоти перерізу з параметрами згідно плану експерименту.

На поздовжні арматурні стержні посередині висоти (в пошкодженому перерізі) наклеювалися тензодатчики опору (базою 20 мм) та ретельно гідроізолювалися (рис. 4). Ці датчики під час експерименту дали змогу виміряти відносні деформації сталі з наступним визначенням напружень в стержнях на кожній ступені навантаження дослідного зразка.



Рис. 3. Каркаси дослідних колон



Рис. 4. Тензодатчики



Рис. 5. Вид опалубки

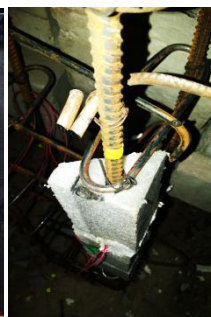


Рис. 6. Моделювання пошкодження

Бетонувалися дослідні зразки в метало-дерев'яній опалубці, в якій дерев'яні елементи були гідрофобізовані поліетиленовою плівкою (рис. 5). Пошкодження моделювалися шляхом вставлення пінополістирольного блоку до початку бетонування (рис. 6)

Основні параметри дослідних зразків колон наведені на рис. 7.

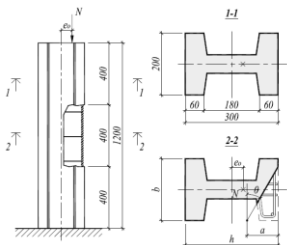


Рис. 7. Параметри дослідних зразків

Випробування дослідних зразків проводилося в лабораторії кафедри Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд на гідравлічному пресі потужністю 250 тс (рис. 8). Перед випробуванням на бокові грані колон (посередині висоти, тобто в пошкодженому перерізі) наклеювалися (рівномірно по периметру) тензорезистори базою 50 мм в кількості 15–18 шт. для

кожної колони. Показання, отримані з цих датчиків дозволили описати напружено-деформований стан конструкцій протягом усіх ступенів навантаження, в тому числі і безпосередньо перед вичерпанням несучої здатності.



Рис. 8. Дослідні колони до та після випробувань

Таким чином, під час експериментальних досліджень отримані дані про напружено-деформований стан та залишкову несучу здатність пошкоджених залізобетонних елементів двотаврового поперечного перерізу.

На основі отриманих даних та аналізу наукової літератури в даному напрямку розроблені передумови розрахунку таких елементів.

Чинні ДБН у загальному випадку визначення несучої здатності визначають напружено-деформований стан залізобетонних перерізів виходячи з нелінійної діаграми напружень від деформацій, проте допускається застосування спрощеної залежності. Обґрунтуванням для застосування у розрахунку саме спрощеної залежності є те, що запропонований метод розрахунку можна застосовувати відносно вже існуючих пошкоджених елементів, розглядаючи його як перевірочний. При виконанні перевірочних розрахунків розглядається рівномірний характер розподілення нормальних напружень в стиснутій зоні.

Тому, підсумовуючи, вище викладені висновки та результати випробувань, були сформульовані наступні основні передумови для розрахунку:

1. Приймається гіпотеза плоских перерізів.
2. Враховується робота оголених арматурних стержнів шляхом введення понижуючих коефіцієнтів, що враховують її гнучкість.
3. Напруження в стиснутій зоні бетону розподілені рівномірно і приймаємо рівними  $f_{cd}$ .
4. Зусилля у розтягнутій зоні повністю сприймаються арматурою.
5. Напруження на розтяг в арматурі приймаємо не більше розрахункового опору на розтяг  $f_t$ , на стиск – не більше  $f_{yd}$ . Напруження в арматурі визначаються виходячи з положення нейтральної лінії та висоти стиснутої зони бетону.
6. Силві площини зовнішньої і внутрішньої пари сил співпадають, або паралельні.

При похилому пошкодженні (кут  $\theta \neq 0^\circ$ ) маємо п'ять невідомих. До невідомих відносимо:

$N$  – несуча здатність зразка за розрахунком;

$x$  – висота стиснутої зони перерізу;

$\varphi$  – кут нахилу нейтральної лінії;

$\delta$  і  $\beta$  – величини, які необхідно знайти для опису положення координат центру мас стиснутої зони бетону.

Маємо п'ять невідомих величин, тобто, необхідно скласти п'ять рівнянь, в які входять ці величини.

Першим рівнянням є рівняння рівноваги відносно осі  $x$ .

Друге та третє рівняння – суми моментів відносно осей  $x$  та  $y$ .

Четверте та п'яте рівняннями є рівняння статичних моментів стиснутої зони бетону, їх складання можливе внаслідок прийняття гіпотези, що напруження рівномірні по площі.

Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо залишкову несучу здатність двотаврових стиснутих елементів таврового профілю, пошкоджених в процесі експлуатації.

У випадку плоского пошкодження (кут  $\theta = 0^\circ$ ) кількість невідомих (а, значить, рівнянь) зменшується та розв'язок системи рівнянь і визначення залишкової несучої здатності пошкоджених двотаврових стиснутих колон – спрощується.

Несуча здатність – один з основних показників експлуатаційної придатності конструкції, тобто, знаючи значення несучої здатності, можемо розрахунковим (а не експертним) методом визначити технічний стан окремих конструкцій, а значить, і будівлі чи споруди в цілому. На підставі визначеного технічного стану можна приймати аргументовані (розрахунком) рішення щодо подальшої експлуатації будівель: ремонт, підсилення, демонтаж або, навіть нежиття жодних заходів.

**Висновки та результати.** В ході проведених досліджень встановлені основні причини та наслідки пошкодження залізобетонних позacentрово стиснутих конструкцій двотаврового поперечного профілю. Визначені три основних фактори, які впливають на величину залишкової несучої здатності елементів. Створено тривірневий трифакторний план Бокса-Бенкіна, який дасть статистично обґрунтовані результати (в межах варіювання змінних факторів) при дослідженні лише 15 дослідних колон.

Виготовлені та випробувані дослідні зразки стиснутих елементів (згідно плану експерименту). В результаті проведених експериментів отримані дані, що дозволили описати напружено-деформований стан пошкоджених двотаврових залізобетонних колон.

На підставі аналізу наукових пропозицій та напружено-деформованого стану, отриманого експериментально, прийняті основні передумови розрахунку залишкової несучої здатності елементів, пошкоджених в процесі експлуатації конструкцій. Створена система рівнянь та намічені шляхи її розв'язку.

В подальшому планується створення системи рівнянь, які будуть враховувати усе різноманіття форм та розмірів поперечного перерізу елемента в цілому, форм та розмірів стиснутої зони бетону. Достовірність даних пропозицій має бути підтверджена шляхом співставлення з даними, отриманими експериментальним шляхом, та статистичною обробкою такого співставлення.

### Література:

1. Клименко Є.В. Технічна експлуатація і реконструкція будівель та споруд. Центр учбової літератури. К., 2004. 304 с.
2. Клименко Є.В. Технічний стан будівель та споруд: монографія. Одеса: ОДАБА, 2010. 284 с.
3. Бетонні та залізобетонні конструкції (II-а ред): ДБН В.2.6.-2011. [Чинний від 2011-06-01]. К.: МІНРЕГІОНБУД України, 2009. 101 с. (Державні будівельні норми України).
4. Торьяник М.С. Косое внецентренное сжатие и косоу изгиб в железобетоне. Киев: Госстройиздат. 1961. 156 с.
5. Торьяник М.С., Вахненко П.Ф., Фалеев Л.В. и др. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях М.: Стройиздат, 1974. 297 с.
6. Клименко Е.В., Дуденко Т.А. Расчет поврежденных железобетонных колонн. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2013. Вип.27. С. 448-453.
7. Клименко Є.В., Орешкович М., Задравич В., Кос Ж. Structural reliability and evaluation of current state of construction. Tehnički glasnik. Technical journal. Znanstveno-stručni časopis Sveučilišta Sreber. Scientific professional journal of University North. Varaždin, 2015. № 4, pp. 426-431.
8. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К.: Высшая школа, 1989. 328 с.