3. Байда Д. М. Залишкова несуча здатність залізобетонних балок після їх часткового руйнування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Байда Денис Миколайович. Київ, 2005. 20 с.

4. Клименко Е. В. Влияние поврежденности на прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов / Е. В. Клименко, Е. А. Острая // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 46. – С. 175–180.

5. Klymenko I. Capacity of damaged reinforced concrete beams: Monograph / Ievgenii Klymenko, Arez Mohammed Ismael. – Odessa, OSACEA, 2017. – 162 p.

6. Клименко Е .В. Работа поврежденных железобетонных колонн / Е. В. Клименко, Т. А. Крутько. – Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – 137 с.

УДК 624.012.45

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН РІЗНОЇ ГНУЧКОСТІ

Згонніков С.С., *студ. гр. ПЦБ-627м(н)*
Науковий керівник **– Клименко Є.В.**, *д.т.н., професор (кафедра Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури)*

Анотація. У ході проведених експериментально-статистичних досліджень виконано планування експерименту для трьох найбільш значущих факторів, що впливають на залишкову несучу здатність пошкоджених залізобетонних колон прямокутного поперечного перерізу. Досліджувався вплив висоти колони, кута нахилу пошкодження та глибина пошкодження. Результати експерименту дозволили порівняти вплив на несучу здатність кожного фактору, а також взаємодію цих факторів.

Вступ. Найбільш використовуваним матеріалом будівель та споруд є залізобетон. Зараз в Україні багато будівель, збудованих у 50-60-х роках минулого століття. Ці будівлі були розраховані на 50-60 років експлуатації, тобто вже давно перевищили свій запроектований термін на десятки років. За цей час змінювалися умови експлуатації: навантаження, функціональність будівель, температура та вологість, агресивність середовища тощо. Через різні причини у конструкціях виникають різноманітні пошкодження. У дійсних нормах не вистачає рекомендацій щодо встановлення запасів міцності, через що втрачається більше ресурсів, чим необхідно. Однією з несущих конструкцій у будівлі є колони. У більшості випадків пошкоджена колона працює при косому стиску за рахунок зміни поперечного перерізу. При цьому через зменшення площі поперечного перерізу зменшується й несуча здатність конструкції. Метою цих експериментальних досліджень є визначення впливу пошкодження на напружено-деформований стан пошкодженої конструкції та визначення залишкової несучої здатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням роботи пошкоджених у процесі експлуатації стислих і згинальних бетонних та залізобетонних конструкцій присвячено багато робіт [3-6, 8]. В результаті проведення експериментальних та теоретичних досліджень розроблені загальні підходи [7] до визначення залишкової несучої здатності пошкоджених бетонних та залізобетонних конструкцій, які ґрунтуються на основних положеннях чинних норм [2] та розширюють їхню дію на область визначення залишкової несучої здатності пошкоджених конструкцій. В результаті вдається точно визначити несучу здатність, отже технічний стан конструкції [1] і зробити висновок про подальшу безаварійну експлуатацію конструкцій, будівлі або споруди в цілому. Однак вищезазначені дослідження не проводились над стислими залізобетонними елементами різної гнучкості, а, як відомо, [2] гнучкість стисненого залізобетонного елемента істотно впливає на його несучу здатність.

Не вивченим залишається питання обліку гнучкості стисненого елемента на несучу здатність частково пошкодженого елемента, коли ушкодження спостерігається лише на частині висоти перерізу, через що гнучкість змінюється по висоті елемента.

У тій роботі розглядається ушкодження у вигляді руйнування частини перерізу бетону, що тягне за собою зменшення несучої здатності, особливо у стиснутих елементах. Такого виду пошкодження отримують конструкції будівель та споруд, які перебувають у зоні активних бойових дій. У аналізованих дослідженнях ушкодження моделювалося руйнуванням частини бетону у більш стиснутої зони бетону. Довжина пошкоджень по висоті колони у всіх зразках була постійною, а варіювався кут нахилу фронту пошкодження та його глибина. При цьому пошкодження знаходиться посередині висоти колони та фронт пошкодження був площиною.

Проведені протягом останніх років в ОДАБА дослідження роботи стислих та згинальних пошкоджень у процесі експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій, дозволили описати їх напружено-деформований стан та розробити методику розрахунку залишкової несучої здатності [3-8]. Однак для стислих елементів розглядалися лише жорсткі елементи, вплив гнучкості на несучу здатність стиснутих елементів не враховувався, що не дозволяє використовувати запропоновані методики визначення залишкової міцності для реального спектру конструкції.

Мета роботи. Експериментально-статистичні дослідження деформованого стану та визначення несучої здатності пошкоджених у процесі експлуатації залізобетонних стислих елементів різної гнучкості, визначення впливу кожного з обраних факторів та їх взаємний вплив на здатність несучих конструкцій. **Об'єкт дослідження –** процес деформування та руйнування пошкоджених залізобетонних колон прямокутного перерізу з різною гнучкістю.

Для експерименту було виготовлено 23 колони із заздалегідь змодельованими ушкодженнями. Арматурний каркас складався з поздовжньої ребристої арматури Ø10 мм класу А500 і поперечної арматури з гладких стрижнів Ø6 мм класу А350. Бетонування виконувалося бетоном класу С25/30. Ушкодження у всіх колонах було заввишки 40 см та знаходилося у середині колон. Відрізнялися усі колони тільки трьома факторами:

1) Висота колони (h);
2) Кут нахилу фронту ушкодження (γ);
3) Висота пошкодження (h_1).

Кожний фактор змінювався за трьома рівнями (-1, 0, 1). У таблиці 1 наводиться докладний опис усіх варіантів варіювання пошкодженого перерізу, а у рисунку 1 схематичне зображення пошкодженої частини колони.

Таблиця 1 – Фактори варіювання

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
код	Натуральні значення	-1	0	1	
X_1	Висота колони l , м	1,0	1,75	2,5	0,75 м
X_2	Кут пошкодження γ, градуси	0	30	60	30˚
X_3	Висота пошкодження h_1, мм	20	60	100	40 мм

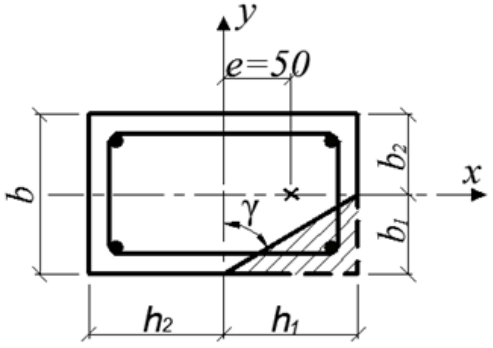

Рис. 1. Фактори варіювання

В експерименті стискаюче навантаження передавалося через металеві пластині, які були розміщені на обох кінцях тестового зразка в половину поверхні поперечного перерізу ($h/2 \times b$). Таким чином навантаження було прикладено з ексцентриситетом на чверть висоти перерізу від головних центральних осей непошкодженої частини колони. При цьому пошкодження завжди було на тій половині перерізу, де прикладалося навантаження. Результати випробувань кожної колони зведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень

Шифр колони	Маркування зразка	Несуча здатність, кН
К1	+1 +1 +1	300
К2	+1 +1 -1	440
К3	+1 -1 +1	210
К4	+1 -1 -1	360
К5	+1 0 0	370
К6	-1 +1 +1	300
К7	-1 +1 -1	400
К8	-1 -1 +1	190
К9	-1 -1 -1	330
К10	-1 0 0	330
К11	0 +1 0	330
К12	0 -1 0	230
К13	0 0 +1	250
К14	0 0 -1	400
К15	0 0 0	300
К16	0 0 0	400
К17	0 0 0	400
К18	0 0 0	410
К19	0 0 0	340
К20	0 +1 0	460
К21	0 -1 0	290
К22	0 0 +1	270
К23	0 0 -1	380

За типом пошкодження можна поділити на випадок прямого пошкодження та пошкодження під кутом. Випадок прямого пошкодження можна вважати окремим випадком похилого пошкодження, який набагато простіше описується та вирішується. Для визначення несучої здатності колони з пошкодженням був розроблений алгоритм розрахунку, який враховує гнучкість колони. За цім алгоритмом при похилому пошкодженні складається система з п’яти рівнянь:

$$N - f_{ck} \cdot A_c - \sum_{i=1}^{n} \sigma_{s1-s4} \cdot A_{s1-s4} = 0, \quad (1)$$

$$N \cdot e \cdot \eta - f_{ck} \cdot A_c \cdot x_c - \sigma_{s1-s2} \cdot A_{s1-s2} \cdot h_{01-02} + \sigma_{s3-s4} \cdot A_{s3-s4} \cdot h_{03-04} = 0, \quad (2)$$

$$N \cdot \frac{b}{2} - f_{ck} \cdot A_c \cdot y_c - \sigma_{s1} \cdot A_{s1} \cdot \left(a' + \frac{d}{2}\right) - \sigma_{s2} \cdot A_{s2} \cdot \left(b - a' + \frac{d}{2}\right) + \sigma_{s3} \cdot A_{s3} \cdot \left(a' + \frac{d}{2}\right) + \\ + \sigma_{s4} \cdot A_{s4} \cdot \left(b - a' + \frac{d}{2}\right) = 0, \quad (3)$$

$$S_{x1} = A_1 \cdot y_1 - A_2 \cdot y_2 = 0, \quad (4)$$

$$S_{y1} = A_3 \cdot x_3 - A_4 \cdot x_4 = 0, \quad (5)$$

Рівняння (1) – рівняння рівноваги відносно осі x, Рівняння (2-3) – суми моментів відносно осей x та y. Рівняння (4-5) – рівняння статичних моментів стиснутого бетону. У результаті розрахунку за розробленим алгоритмом були отримані результати з середньою розбіжністю не більше 29,7%, що дозволяє застосовувати метод розрахунку у практиці.

Основні висновки:

1. Проведено експериментальні дослідження визначення напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних балок прямокутного перерізу та отримані дані граничних зусиль та відповідних деформацій бетону та поперечної арматури в зразках.

2. За результатами експериментальних досліджень вдалось встановити, що зменшення прогону зрізу призводить до зменшення граничних деформацій бетону, утворення пошкоджень також призводить до зменшення деформацій бетону і деформацій арматури. Пошкодження призводять до нахилу нейтральної осі.

3. Отримані дані напружено-деформованого стану показують дійсну роботу пошкоджених залізобетонних балок, що руйнуються за похилими перерізами та є корисними для розробки методик з визначення залишкової несучої здатності похилих перерізів пошкоджених залізобетонних балок прямокутного перерізу.

Література:

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану / Мінрегіонбуд України. – К., 2017. – 45 с.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. – К., 2009. –97 с.
3. Экспериментальные исследования работы сжатых железобетонных поврежденных колонн различной гибкости / Е.В. Клименко, А.В. Павловский, Ж.Кос // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2017. – Вип. 66. – С. 35-40.
4. Клименко Е.В. Поврежденные бетонные сжатые конструкции: работа, расчет. / Е.В. Клименко, Г.М. Мустафа // Одесса: Одесский нац. ун-т им. И.И. Мечникова, 2014. – 169 с.
5. Клименко Е.В. Работа поврежденных железобетонных колонн / Е.В. Клименко, Т.А. Крутько // Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – 137 с.
6. Клименко Е.В. Approach to calculation of structural reliability and procedures for the evaluation of current state of construction / Е.В. Клименко, М. Орєшковіч, Ж. Кос // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2015. – Вип. 61. – С. 176-185.
7. Клименко Є.В. Технічні проблеми керування залишковим ресурсом об’єктів культурної спадщини / Є.В. Клименко // Збереження історичної забудови центра Одеси шляхом включення до основного списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО: Матеріали III і IV конференцій. – Одеса: ОДАБА, 2016. – С. 68-74.
8. Клименко Е.В. Общий метод определения остаточной несущей способности поврежденных железобетонных конструкций / Е.В. Клименко, Т.А. Крутько, А.М. Исмаель // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. Вып. 77. – Дн-вск, ГВУЗ «ПГАСА», 2014. – С. 85-89.