УДК 624.012.36 DOI: 10.31650/2415-377X-2021-85-18-27

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ДВОТАВРОВИХ КОЛОН

[1]**Клименко Є.В.,** д.т.н., професор,
klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4502-8504
[1]**Антонюк Н.Р.,** к.т.н., доцент,
antonuk_nr@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1730-0723
[1]**Максюта О.В.,** аспірантка,
maxiuta92@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7587-0874
[1]*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. В статті наведені результати експериментальних та теоретичних досліджень роботи параметрів напружено-деформованого стану та методики розрахунку залишкової несучої здатності залізобетонних колон двотаврового профілю, пошкоджених в процесі експлуатації та бойових дій. Проведений аналіз літератури за вказаної тематикою дозволив вивчити основні фактори, що впливають на залишкову несучу здатність, а саме: глибина пошкодження; кут нахилу фронту пошкодження, відносний ексцентриситет прикладання зовнішнього стискаючого зусилля. Розроблений трифакторний трирівневий план експерименту. Проведені натурні випробування дослідних зразків пошкоджених залізобетонних колон дозволили визначити параметри напружено-деформованого стану пошкоджених елементів та їх фактичну залишкову несучу здатність. На підставі виконаного експериментально-статистичного моделювання встановлені основні фактори, що впливають на залишкову несучу здатність пошкоджених елементів.

Запропоновані передумови розрахунку пошкоджених залізобетонних двотаврових колон та складені рівняння рівноваги. Пропозиції, викладені в статті, базуються на основних положеннях чинних норм та розширюють дію їх використання.

На підставі проведених досліджень розроблена методика визначення достовірно обґрунтованої залишкової несучої здатності залізобетонних стиснутих елементів таврового профілю, пошкоджених в процесі експлуатації. Це дає можливість розрахунковим методом визначити можливість подальшої безаварійної експлуатації конструкцій або необхідність їх підсилення чи реконструкції.

Ключові слова: залізобетонні колони, двотавровий переріз, пошкодження, фактори впливу, залишкова несуча здатність.

Вступ. Залізобетон, як матеріал, є в даний час та залишиться на перспективну одним із самих ефективних для виготовлення будівельних конструкцій. Це обумовлено рядом переваг його, 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 (або бойових дій) – 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.

Рис. 1. Пошкодження залізобетонних конструкцій в процесі експлуатації

Чинні будівельні норми [3, 4] 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.

Дослідженням роботи пошкоджених у процесі експлуатації стиснутих бетонних та залізобетонних конструкцій присвячено чимало робіт [5…9].

Однак, двотавровий профіль (як найбільш складний та загальний) стиснутих елементів в ракурсі визначення залишкової несучої здатності залізобетонних елементів, пошкоджених в процесі експлуатації, не розглядався. 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.

Аналіз досліджень і публікацій. В ході літературного аналізу встановлено, що особливості впливу складного навантаження (косий позацентровий стиск) на роботу залізобетонних конструкцій та вплив на них оточуючого середовища розглядалися в роботах багатьох дослідників. Основою є дослідження професора Торяника М.С. та його учнів [10, 11].

Проте, у дослідників ще не склалася єдина думка про вплив багатьох чинників і факторів зовнішнього впливу на характер деформування та руйнування залізобетонних стиснутих елементів, пошкоджених в процесі експлуатації. Зокрема, недостатньо вивченими є робота косостиснутих елементів, ексцентриситет в двох площинах у яких виник не від наявності ексцентриситетів в двох напрямках, а в результаті пошкодження колон по висоті.

Практично відсутні дані щодо впливу таврового поперечного перерізу залізобетонних косостиснутих колон (пошкоджених в процесі експлуатації) на їх залишкову несучу здатність.

Постановка задачі. Мета цього дослідження – визначити найбільш суттєві фактори, що впливають на залишкову несучу здатність пошкоджених залізобетонних колон двотаврового профілю, Для цього розробити пропозиції щодо створення методики розрахунку залишкової несучої здатності пошкоджених залізобетонних колон таврового профілю, які б базувалась на основних положеннях чинних норм та розвивала їх дію на роботу косостиснутих залізобетонних елементів, причиною появи складного напруженого стану в яких є пошкодження частини бетонного перерізу по висоті елемента.

Методика дослідження. З метою реалізації поставленої задачі розроблений трирівневий трифакторний план експерименту Бокса-Бенкіна.

Основними факторами, що варіювалися, були: глибина пошкодження а, кут нахилу фронту пошкодження Θ (рис. 2) та ексцентриситет прикладання зовнішнього зусилля e_0. Межі варіювання змінних факторів: а= 2–10 см; $\Theta = 0^o–60^o$, e_0=0–1/4 h.

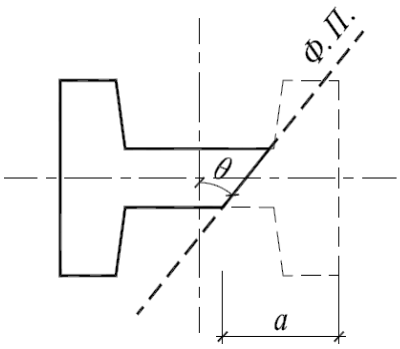

Рис. 2. Параметри пошкодженого поперечного перерізу

Для експериментальних досліджень виготовлено 15 дослідних балок з бетону класу С 25/30 армованих 4ø12 А 400С (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 кожному ступені навантаження дослідного зразка.

Проєктні ушкодження зразків виконували на стадії виготовлення в середній третині зразка шляхом кріплення пінополістирольних вкладишів заданої форми до арматурного каркасу (рис. 3, а).

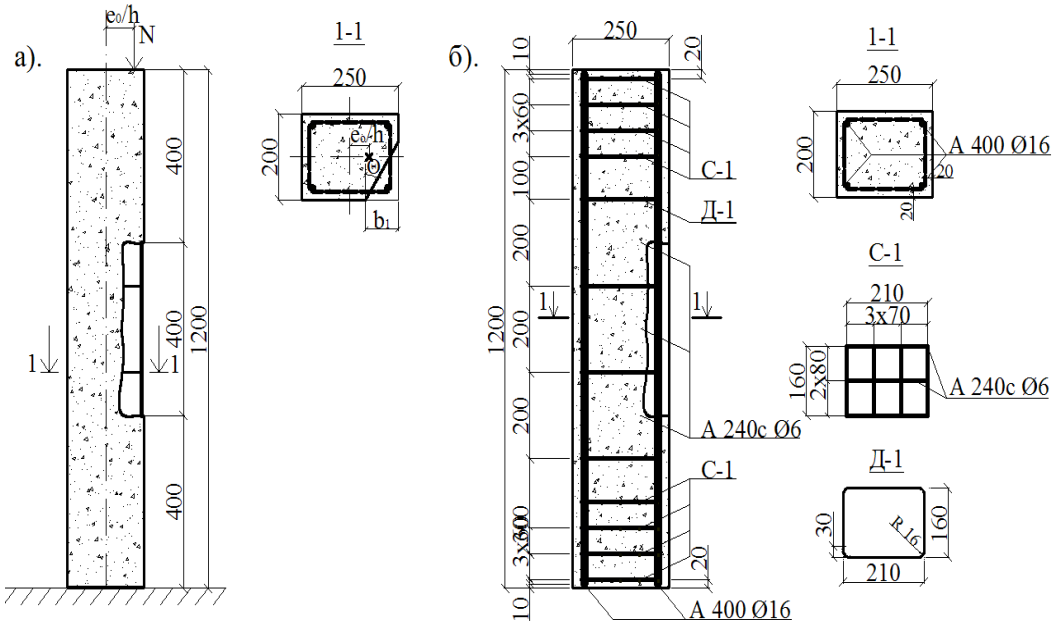

Рис. 3. Конструкція дослідних зразків:
а – пошкодження бетону по висоті конструкції; б – армування дослідних зразків

Рис. 4. Наклеювання тензорезисторів на арматуру

Бетонувалися дослідні зразки в метало-дерев'яній опалубці, в якій дерев'яні елементи були гідрофобізовані поліетиленовою плівкою. Пошкодження моделювалися шляхом вставляння піно полістирольного блоку до початку бетонування.

Для отримання параметрів деформованого стану бетону в пошкодженому перерізі по периметру колони наклеювалися тензорезистори базою 50 мм.

Вхідні фактори в кодованому вигляді залежно від діапазону (розмаху) варіювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – значення вхідних факторів та їх варіювання

Вхідний фактор			Рівні варіювання			Розмах варіювання	Інтервал варіювання
Код	**Значення**	**Од. вим.**	**«-1»**	**«0»**	**«1»**		
x_1	Кут нахилу фронту пошкодження, θ	град.	0	30	60	60	30
x_2	Глибина пошкодження, a	см	2	6	10	8	4
x_3	Відносний ексцентриситет, e_0/h	-	0	1/8	1/4	1/4	1/8

Випробування дослідних зразків проводилося в лабораторії кафедри Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд на гідравлічному пресі потужністю 250 тс (рис. 5).

Рис. 5. Випробування дослідних зразків:
а – процес навантаження; б – руйнування колон

Результати досліджень. 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 напряму розроблені передумови розрахунку таких елементів.

Чинні ДБН при оцінюванні несучої здатності, у загальному випадку, рекомендують визначати параметри напружено-деформованого стану залізобетонних перерізів виходячи з нелінійної діаграми деформування, 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. Силові площини зовнішньої і внутрішньої пари сил співпадають, або паралельні.

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

N – несуча здатність зразка за розрахунком;

x – висота стиснутої зони перерізу;

φ – кут нахилу нейтральної лінії;

δ і β – величини, які необхідно знайти для опису положення координат центру мас стиснутої зони бетону.

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 $\Theta=0^o$) кількість невідомих (а, значить, рівнянь) зменшується та розв'язок системи рівнянь і визначення залишкової несучої здатності пошкоджених двотаврових стиснутих колон – спрощується.

Одним із дієвих інструментів, що підвищують якість та ефективність науково-дослідних робіт, є математична теорія експерименту в будівельному матеріалознавстві [12, 13].

Математичний опис оцінювання несучої здатності вимагає мінімальної кількості експериментальних дослідів, з яких інформація витягується з максимальною повнотою, що дозволяє скоротити витрати часу та коштів на експериментальні роботи.

Використання експериментально-статистичного моделювання під час вирішення завдання дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених двотаврових залізобетонних колон дозволяє цілеспрямовано змінювати фізико-механічні та експлуатаційні якості матеріалів.

Для вирішення поставленого завдання було проведено 3-х факторний експеримент [12], за оптимальним планом з 15 дослідних зразків із заздалегідь змодельованими пошкодженнями.

Аналіз науково-технічної літератури та попередньо проведені дослідження дозволили визначити вхідні фактори та границі їх розмаху. Перехід до безрозмірних нормалізованих перемінних $-1 \le x_i \le +1$ виконано за типовою формулою: $x_i = (X_i - X_{oi}) / \Delta X_i$ (табл. 1).

Сформована матриця експерименту з фізичними величинами варіювання досліджуваних параметрів для трифакторної квадратичної експериментально-статистичної моделі має вигляд (табл. 2).

За отриманими значеннями руйнуючої сили ($\mathbf{R}_u$, кН), які були отримані при випробуванні 15 дослідних зразків, була побудована 3-и факторна експериментально-статистична модель (ЕС-модель). ЕС-модель адекватна експерименту при похибці $s_e[\ln\{\mathbf{R}_u\}] = 0.1$, з 7 статистично значущими коефіцієнтами:

$$\begin{aligned}\mathbf{ln\{R_u\}} = \; & 6.506 + 0.410x_1 - 0.306x_1^2 - 0.391x_1x_2 \pm 0x_1x_3 \\ & - 0.481x_2 \pm 0x_2^2 \pm 0x_2x_3 \\ & - 0.169x_3 + 0.369x_3^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Основними узагальнюючими показниками моделі, в координатах екстремумів, для $\mathbf{R}_u$ є: мінімальний $\mathbf{R}_{u\min}$=120 кН ($x_{\min}$ при x_1=-1, x_2=1, x_3=0,29) і максимальний $\mathbf{R}_{u\max}$=1439 кН ($x_{\max}$ при x_1=-0,1, x_2=x_3=-1) рівні; абсолютний $\Delta\{\mathbf{R}_u\}$=1319 кН і відносний $\delta\{\mathbf{R}_u\}$=6,04 кН перепади.

Таблиця 2 – Фізичні величини варіювання досліджуваних параметрів

№ досліду	Кодовані значення факторів			Натуральні значення факторів		
	x_1	x_2	x_3	Кут нахилу фронту пошкодження θ, град.	Глибина пошкодження a, мм	Відносний ексцентриситет e_0/h
К 1	-1	-1	-1	0	2	0
К 2	-1	1	-1	0	10	0
К 3	0	0	-1	30	6	0
К 4	1	-1	-1	60	2	0
К 5	1	1	-1	60	10	0
К 6	-1	0	0	0	6	1/8
К 7	0	-1	0	30	2	1/8
К 8	0	0	0	30	6	1/8
К 9	0	1	0	30	10	1/8
К 10	1	0	0	60	6	1/8
К 11	-1	-1	1	0	2	1/4
К 12	-1	1	1	0	10	1/4
К 13	0	0	1	30	6	1/4
К 14	1	-1	1	60	2	1/4
К 15	1	1	1	60	10	1/4

Оцінки коефіцієнтів моделі та узагальнюючих показників характеризують індивідуальний і спільний вплив кута нахилу фронту пошкодження (θ, град.), глибини пошкодження (a, см) і відносного ексцентриситету (e_0/h) відколу на рівень руйнуючої сили. Вплив варіювання вхідних факторів на руйнівне навантаження представлено на рис. 6.

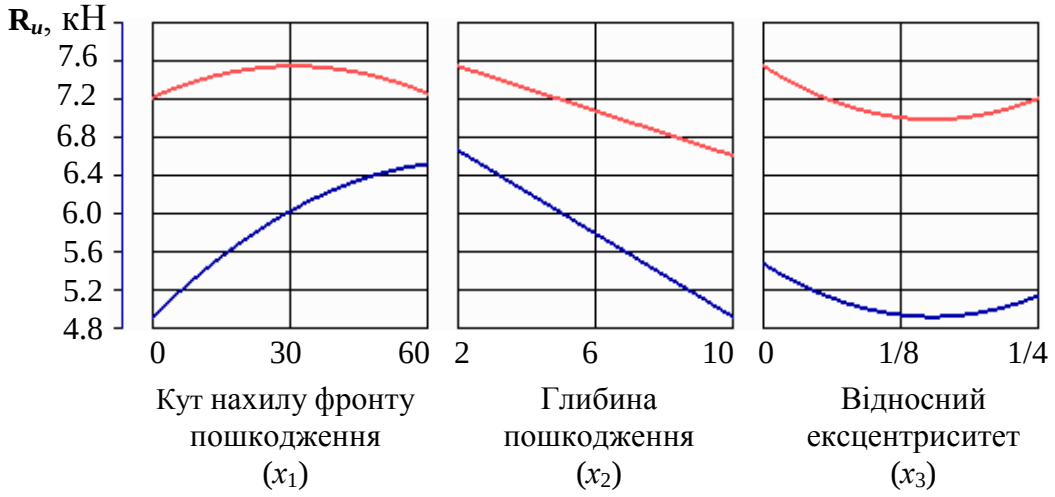

Рис. 6. Однофакторні залежності впливу варіювання вхідних факторів на руйнівне навантаження

Як видно за оцінками ЕС-моделі і однофакторних локальних полів (рис. 6), вагомий вплив на $\mathbf{R}_u$ здійснює x_2 – із збільшенням глибини пошкодження в перерізі колони значно зменшується руйнівне навантаження як в зоні максимальних значень, так і в зоні мінімальних значень. Зі збільшенням глибини пошкодження від 2 см до 10 см руйнівне навантаження знижується майже вдвічі (від 1400 кН до 800 кН).

У зв'язку з тим, що найбільше граничне навантаження $\mathbf{R}_{u.max}$ досягається на зразках без глибини пошкоджень (x_2=–1), подальший аналіз впливу двох інших факторів x_1 і x_3 логічно вести по двохфакторній моделі (2):

$$\mathbf{ln\{R_u\}} = 6.987 + 0.801x_1 - 0.306x_1^2 \pm 0x_1x_3 - 0.169x_3 - 0.369x_3^2 \quad (2)$$

З аналізу моделі випливає, що граничне навантаження зразків колон залежить як від величини кута нахилу фронту пошкодження x_1, так і від відносного ексцентриситету x_3. Так, зі збільшенням кута нахилу фронту пошкодження від 0 до 30° руйнівне навантаження зростає до 1439 кН, а при подальшому збільшені кута нахилу до 60° руйнівне навантаження знижується до 1320 кН. Вплив ексцентриситету e_0/h від прикладеного навантаження $\mathbf{R_u}$ спочатку знижується від 1439 кН до 1000 кН (x_3=0.2), а потім збільшується до 1180 кН при x_3=+1.

На рис. 7 представлена діаграма, яка побудована за двофакторною моделлю (2). З діаграми видно, що колони можуть витримувати максимальне руйнівне навантаження 1738 кН при куті нахилу фронту пошкодження 60° та при відсутності відносного ексцентриситету. А найменше руйнівне навантаження колони можуть витримати при відсутності кута нахилу фронту пошкодження, а відносний ексцентриситет складатиме близько 1/8 прикладеного навантаження.

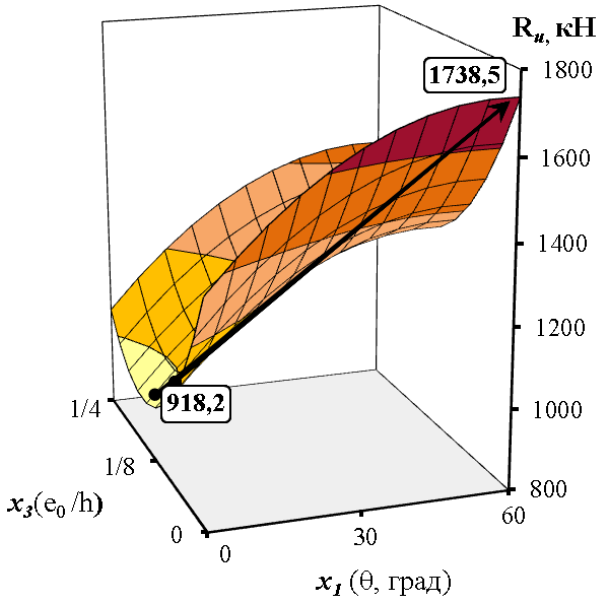

Рис. 7. Вплив x_1 та x_3 на руйнівне навантаження колон за умови відсутності глибини пошкодження колон x_2 = –1

Висновки. 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 невжиття жодних заходів.

Проведено аналіз впливу різних факторів на несучу здатність пошкоджених двотаврових залізобетонних колон. Встановлено, що колони можуть витримувати максимальне руйнівне навантаження 1738 кН при куті нахилу фронту пошкодження 60^0 та при відсутності відносного ексцентриситету. А найменше руйнівне навантаження колони можуть витримати при відсутності кута нахилу фронту пошкодження, а відносний ексцентриситет складатиме 1/8 прикладеного навантаження.

Створення системи рівнянь, які враховують усе різноманіття форм та розмірів поперечного перерізу елемента в цілому, форм та розмірів стиснутої зони бетону. Достовірність даних пропозицій 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 р. 304 с.
2. Клименко Є. В. Технічний стан будівель та споруд: монографія. Одеса: ОДАБА, 2010 р. 284 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. К., 2017. 45 с.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Мінрегіонбуд України. 2011 р.
5. Клименко Е.В., Мустафа Г.М. Поврежденные бетонные сжатые конструкции: работа, расчет: монография. Одесса: Одесский нац. ун-т им. И. И. Мечникова, 2014. 169 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.
6. Клименко Е.В., Крутько Т.А. Работа поврежденных железобетонных колонн: монография Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. 137 с.
7. Klymenko YE.V., Oreshkovich M., Zadravich V., Kos ZH. Structural reliability and evaluation of current state of construction. *Tehnički glasnik*. 2015. № 4. pp. 426-431.
8. Klymenko Yevhenii, Matiya Orešcovic. Damaged circular columns: research and calculation: monograf. University Nord, Korpivnica/Varaždin and Odessa state academy of civil engineering and architecture. 169 p.
9. Klymenko Y., Kos Z., Grynyova I., Crnoja A. Damaged reinforced concrete columns of various flexibility: research and calculation. Monograph / // Varaždin, Croatia, 2020. 179 p.
10. Торяник М.С. Косое внецентренное сжатие и косой изгиб в железобетоне. Киев: Госстройиздат. 1961. 156 с.
11. Торяник М.С., Вахненко П.Ф., Фалеев Л.В. и др. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях. М.: Стройиздат, 1974. 297 с.
12. Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Огарков Б. Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К.: Вища школа, 1989. 327 с.
13. Ляшенко Т. В., Вознесенский В. А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. 168 с.

References

[1] YE.V. Klymenko, *Tekhnichna ekspluataciya i rekonstrukciya budivel' ta sporud*. Centr uchbovoї literaturi. K., 2004.

[2] YE.V. Klymenko, *Tekhnichnyy stan budivel' ta sporud*: monohrafiya. Odesa: ODABA, 2010.

[3] DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennya budivel′ ta sporud dlya vyznachennya ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. K., 2017.

[4] DBN V.2.6-98: 2009. Konstruktsiyi budynkiv ta sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. Minrehionbud Ukrayiny. 2011.

[5] YE.V. Klymenko, H.M. Mustafa, *Poshkodzheni betonni stysli konstruktsiyi: robota, rozrakhunok*. Monohrafiya. Odesa: Odes′kyy nats. un-t im. I. I. Mechnikova, 2014.
[6] YE.V. Klymenko, T.O. Krut′ko, *Robota poshkodzhenykh zalizobetonnykh kolon*: Monohrafiya Odesa: Odes′ka derzh. akademiya bud. ta arkhitektury, 2014.
[7] YE.V. Klymenko, M. Oreshkovich, V. Zadravich, ZH. Kos, "Structural reliability and evaluation of current state of construction", *Tehnički glasnik*, 2015, no. 4, pp. 426-431.
[8] Klimenko Yevkheniya, Matiya Oreshkovych, *Zrobleni kolo hrafiv: doslidzhennya ta kal'kulyatsiyi*: Monograf. University Nord, Korpivnica/Varazdin and Odessa state academy of civil engineering and architecture.
[9] Y. Klymenko, Z. Kos, I. Grynyova, A. Crnoja, *Damaged reinforced concrete columns of diversity flexibility: research and calculation*. Monograph. Varaždin, Croatia, 2020.
[10] M.S. Toryanyk, *Kose pozatsentrove stysnennya ta kosyy vyhyn u zalizobetoni*. Kyyiv: Derzhbudvydav, 1961.
[11] M.S. Toryanyk, P.F. Vakhnenko, L.V. Falyeyev ta in., *Rozrakhunok zalizobetonnykh konstruktsiy pry skladnykh*
metody vyrishennya budivel′no-tekhnolohichnykh zavdan′ na EOM/V. A. *deformatsiyakh*. M.: Budvydav, 1974.
[12] V.A. Voznesens′kyy, T.V. Lyashenko, B.L. Oharkov, *CHislennye metody resheniya stroitel'no-tekhnologicheskih zadach na EV*M. K.: Vishcha shkol, 1989.
[13] T.V. Lyashenko, V.A. Voznesens′kyy, Metodolohiya retsepturno-tekhnolohichnykh poliv u komp'yuternomu budivel′nomu materialoznavstvi. Odesa: Astroprynt, 2017.

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДВУТАВРОВЫХ КОЛОНН

[1]**Клименко Е. В.,** д.т.н., профессор,
klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4502-8504
[1]**Антонюк Н. Р.,** к.т.н., доцент,
antonuk_nr@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1730-0723
[1]**Максюта Е. В.,** аспирантка,
maxiuta92@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7587-0874
[1]*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований работы, параметров напряженно-деформированного состояния и методики расчета остаточной несущей способности железобетонных колонн двутаврового профиля, поврежденных в процессе эксплуатации и боевых действий. Проведенный анализ литературы по указанной теме позволил изучить основные факторы, влияющие на остаточную несущую способность, а именно: глубина повреждения; угол наклона фронта повреждения; относительный эксцентриситет приложения внешнего сжимающего усилия. Разработан трехфакторный трехуровневый план эксперимента.

Проведенные натурные испытания опытных образцов поврежденных железобетонных колонн позволили определить параметры напряженно-деформированного состояния поврежденных элементов и их фактическую остаточную несущую способность. На основании выполненного экспериментально-статистического моделирования установлены основные факторы, влияющие на остаточную несущую способность поврежденных элементов.

Предложены предпосылки расчета поврежденных железобетонных двутавровых колонн и составлены уравнения равновесия. Предложения, изложенные в статье, основываются на основных положениях действующих норм и расширяют действие их использования.

Проведен анализ влияния различных факторов на несущую способность поврежденных двутавровых железобетонных колонн. Установлено, что колонны могут выдерживать

максимальную разрушительную нагрузку 1738 кН при углу наклона фронта повреждения 60° и при отсутствии относительного эксцентриситета. А малейшая разрушительная нагрузка колонны могут выдержать при отсутствии угла наклона фронта повреждения, а относительный эксцентриситет составит 1/8 приложенной нагрузки.

На основании проведенных исследований разработана методика определения достоверно обоснованной остаточной несущей способности железобетонных сжатых элементов таврового профиля, поврежденных в процессе эксплуатации. Это позволяет расчетным методом определить возможность дальнейшей безаварийной эксплуатации конструкций или необходимость их усиления или реконструкции.

Ключевые слова: железобетонные колонны, двутавровое сечение, повреждения, факторы воздействия, остаточная несущая способность.

CARRYING CAPACITY OF DAMAGED REINFORCED CONCRETE TWO-TUBE COLUMNS

[1]**Klymenko Ye.V.,** Doctor of Engineering Science, Professor,
klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-000-4502-8504
[1]**Antoniuk N. R.,** Ph.D., Associate Professor,
antonuk_nr@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1730-0723
[1]**Maksiuta E. V.,** postgraduate,
maxiuta92@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7587-0874
[1]*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrichson street, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The article presents the results of experimental and theoretical studies of the work, the parameters of the stress-strain state and the methodology for calculating the residual bearing capacity of reinforced concrete I-section columns damaged during operation and combat operations. The analysis of the literature on this subject made it possible to study the main factors affecting the residual bearing capacity, namely: the depth of damage; the angle of inclination of the damage front; relative eccentricity of application of external compressive force. A three-factor three-level experimental design has been developed.

The conducted field tests of prototypes of damaged reinforced concrete columns made it possible to determine the parameters of the stress-strain state of damaged elements and their actual residual bearing capacity. On the basis of the performed experimental-statistical modeling, the main factors influencing the residual bearing capacity of damaged elements have been established.

The prerequisites for calculating damaged reinforced concrete I-beams are proposed and equilibrium equations are drawn up. The proposals set out in the article are based on the main provisions of the current norms and expand the effect of their use.

The analysis of influence of various factors on bearing capacity of the damaged I-beam reinforced concrete columns is carried out. It was found that the columns can withstand a maximum destructive load of 1738 kN at an angle of inclination of the damage front of 60° and in the absence of relative eccentricity. And the least destructive load columns can withstand in the absence of the angle of the damage front, and the relative eccentricity will be 1/8 of the applied load.

On the basis of the conducted researches the technique of definition of reliably substantiated residual bearing capacity of reinforced concrete compressed elements of a T-profile profile damaged in the course of operation is developed. This makes it possible to determine the possibility of further trouble-free operation of structures or the need for their reinforcement or reconstruction.

Keywords: reinforced concrete columns, I-section, damage, impact factors, residual bearing capacity.

Стаття надійшла до редакції 8.12.2021