

УДК 624.012:69.07

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ, ОСНОВНІ МЕТОДИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ ТА
ПІДСИЛЕННЯ**

**RESEARCH WORK ON DAMAGED REINFORCED CONCRETE
ELEMENTS AND THEIR POSSIBLE STRENGTHENING METHODS**

Бліхарський Я.З., ORCID 0000-0002-3374-9195, Копійка Н.С. ORCID 0000-0003-2270-4028 (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Blikharskyu Ya.Z., Kopyika N.S., undergraduate student, (Lviv Polytechnic National University, c. Lviv)

В статті розглянуто особливості роботи пошкоджених залізобетонних елементів на основі детального огляду і аналізу літератури з цієї теми. Метою роботи є систематизація наявних даних досліджень і наукових наробок з огляду на необхідність подальшого розвитку цієї актуальної проблеми. Окреслено основні напрямки експериментальної і теоретичної роботи, попередніх досліджень в цій галузі, а також перспективні області для оптимального використання їх результатів, підвищення ефективності набуття нових знань щодо розглянутої теми.

Abstract. As the construction industry identifies the main fields of all scientific and technological fields` development, the issues of decreasing the materials, human and energy resources, used in it, has become rather topical recent times. Thus, highly appropriate has become the concept of redeveloping and reconstruction of existing buildings, rather than construction the new ones. Reinforced concrete structures are widely used in construction practice nowadays; therefore the practical and theoretical issues concerning their work in the damaged state have become highly discussed in recent studies. Great amount of theoretical and experimental data has been obtained and has to be analyzed and reviewed in order to be effectively used. The thorough theoretical review in this field would become the valuable investigation, optimizing further studies and practical work in reconstruction of existing reinforced concrete elements.

In the article are considered the features of damaged reinforced concrete elements work on the basis of thorough literature review and analysis of this subject. The main purpose of the paper is systematization of research and scientific works` available data, taking into consideration the necessity of this topical problem further development. The main fields of experimental and theoretical work and previous research are described. Moreover, the

perspective fields for their results optimal usage and effectiveness of new obtained knowledge increasing are identified.

Ключові слова: Залізобетонні елементи, пошкодження, підсилення.
Reinforced concrete elements, damages, strengthening.

Вступ. Будівельна галузь завжди мала значний вплив на процеси виробничої діяльності, визначаючи різноманітні напрямки її розвитку ([1]). З огляду на необхідність зниження матеріаломісткості, підвищення енергоефективності, зниження екологічного ефекту будівельної індустрії на різноманітні економічні, технологічні і технічні параметри інженерної діяльності, необхідність вагомих капітальних вкладень в об'єкти нового будівництва постає широко обговорюваною актуальною проблемою. Доцільно зазначити, що в наявній ситуації на будівельному ринку часто виникає питання оптимізації наявних будівель і конструкцій, відповідного їх обстеження, аналізу і наданні висновків і рекомендацій щодо подальшої експлуатації.

На сьогодні залізобетонні елементи займають значне місце серед існуючих будівельних фондів і в нових проектних розробках. Їх використання поза межах експлуатаційного проектного терміну часто визначається ступенем їх фактичного зносу, визначеного за результатами натурних обстежень і оцінки фактичного напружено-деформованого стану елементів. В таких ситуаціях надзвичайно важливим постає питання моделювання поведінки залізобетонної конструкції в умовах негативних силових і несилових впливів, прогнозування розвитку пошкоджень і зміни напружено-деформованого стану елемента, що було досліджено в значній кількості наукових досліджень в цій галузі ([2,3,4]).

Постановка мети досліджень. З огляду на актуальність проблеми аналізу напружено-деформованого стану залізобетонних елементів та розвитку методик оцінювання їх фактичної надійності в роботі поставлено за мету огляд наявних наукових розробок та досліджень в цій галузі. В статті систематизовано і класифіковано наявні знання та відомості, можливість їх подальшого застосування та надано рекомендації щодо подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Пошкодження окремих елементів залізобетонних конструкцій спричиняється різноманітними групами впливів ([2]): технологічні фактори (неточне розміщення армування, пошкодження елементів внаслідок будівельно-монтажних операцій і транспортування, порушення проектних параметрів при виготовленні залізобетонних елементів нестандартної конфігурації, механічні сколювання захисного шару), експлуатаційні дефекти (зміни в напружено-деформованому стані елемента внаслідок порушення їх проектного положення і розрахункових зовнішніх впливів). Особливу увагу необхідно приділити дії агресивного

навколишнього середовища як одній із найбільш поширених причин введення елементів в аварійний стан Крім того, окремою категорією критичних непередбачуваних впливів можна об'єднати різноманітні динамічні впливи внаслідок вибухів і ударів, фізичний знос будівлі протягом запланованого експлуатаційного терміну і особливі стихійні явища (землетруси, осідання і зсуви основ). у часовому проміжку запроектованого терміну експлуатації. внаслідок надзвичайних стихійних явищ (землетруси, осідання і зсуви основ).

Всі вище перераховані і багато інших факторів детально досліджуються в наукових роботах різних країн ([3,4, 5, 6]).

В роботі [3] акцентовано увагу на роботі залізобетонних колон в умовах пошкодження від сейсмічних впливів і оцінено доцільність використання коефіцієнта зниження несучої здатності конструкції як параметра його подальшої експлуатації. У праці [4] представлено експериментальні дослідження з використання різних способів зміцнення і фокусується на аналізі розвитку дефектів і тріщин при пошкодженні будівельних конструкцій протягом землетрусів. До цієї тематики наукових досліджень також можна віднести роботу [5], в якій запропоновано технологію оцінки стійкості залізобетонних конструкцій після пошкодження сейсмічними впливами з огляду на необхідність їх швидкого відновлення і подальшої експлуатації. при розгляді окресленого вище питання необхідно звернути увагу на роботу [6], в якій особливий акцент поставлений на підвищенні крихкості і втратах міцності в з'єднаннях і вузлах опирання ригель-балка залізобетонних конструкцій при землетрусах. В статті наведено економічне моделювання для оцінки доцільності реконструкції таких критичних зон з огляду на їх новосформований напружено-деформований стан.

Залізобетонні конструкції є часто єдиною альтернативою, яка забезпечує достатню надійність споруд при наявності термічних впливів. Пошкодження захисного шару бетону може спричинити до зниження міцнісних параметрів арматури. Відповідно, можливим наслідком є аварійний стан конструкції, внаслідок пошкодження армування. Цей та інші аспекти були проаналізовані у роботах [7,8]. Крім цього, у статті [9] охарактеризовано особливості пошкоджень залізобетонних елементів впливами високих температур і основні принципові методи їх підсилення, що матимуть максимальну ефективність і економічну доцільність.

Окремо необхідно відмити широке використання попередньо напружених залізобетонних конструкцій, а також певні особливості їх роботи в пошкодженному стані. Таким чином в роботі [10] сфокусовано увагу на втратах попереднього напруження при різному розвитку дефектів і сформульовано закони зниження попереднього напруження і несучої здатності залізобетонного попередньо напруженого елемента в залежності від часу.

Характеристика несучої здатності пошкодженого елемента передбачає розподіл безпосереднього руйнівного процесу на окремі стадії включаючи етапи нормальної роботи споруди в межах границь несучої здатності, аж до настання аварійного ступеня. Відповідно, проводиться технічна оцінка конструкції згідно з нормативною і проектною документацією і діагностика споруди згідно з типом пошкоджень і дефектів та їх напружено-деформованим станом ([11,12]).

Чинні норми ([13]) регламентують розрахунок несучої здатності пошкодженого елемента шляхом апроксимації його поперечного перерізу до певного еквівалентного, однак необхідно зазначити, що значний вплив на використання такого підходу має характер пошкодження. Детальну класифікацію можливих пошкоджень залізобетонних елементів, причини їх виникнення і особливості розвитку наведено в роботах [2,11,14]. Таким чином, окрему увагу слід приділяти конструкціям вузлів каркасів та можливим неврахованим ексцентриситетам прикладання навантажень. В комплексній роботі рамного каркасу також досить небезпечними є дефекти, спричинені недооцінкою поперечної сили і повздовжнього зусилля в вузлах ригелів, що спричиняють відповідно до різкого крихкого руйнування і локальних продавлювань і змінань([11]).

Ще одним критичним фактором, що визначає формування пошкоджень в залізобетонних конструкціях, інтенсивність їх поширення можуть стати динамічні навантаження на споруду. У праці [15] наведено моделювання роботи пошкодженого елемента під циклічними навантаженнями за допомогою сучасного програмного забезпечення.

Результати проведеної роботи із систематизації опрацьованого матеріалу щодо можливих причин пошкодження залізобетонних елементів наведено на рис.1.

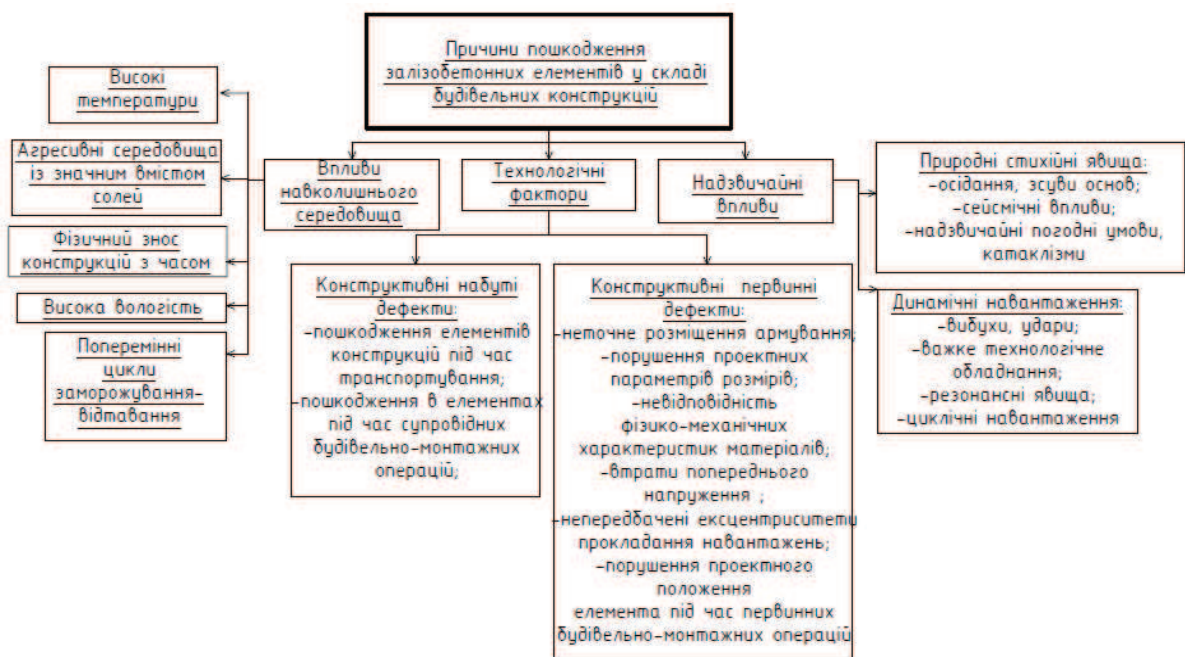


Рис. 1. Причини пошкодження залізобетонних елементів

Окрім вище проаналізованих робіт, не можна оминати увагою ряд теоретичних і експериментальних досліджень, присвячених можливим способам підсилення пошкоджених залізобетонних конструкцій. Так, в роботах [16,17] докладно досліджено способи підсилення залізобетонних балочних елементів за допомогою новітніх композитних матеріалів (композитними стрічками із карбонових волокон і текстильними сталевими матеріалами). Стаття [18] надає рекомендації щодо зовнішнього підсилення пошкоджених залізобетонних колон шляхом намотування шарів металевого дроту, як способу, що підвищуватиме як міцнісні, так і деформативні показники надійності стиснутих елементів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В роботі проведено огляд і докладний аналіз теоретичних і експериментальних досліджень фактичних характеристик пошкоджених залізобетонних елементів, показників їх міцності, деформативності і надійності. Актуальність розглянутої тематики, що підтверджується значною кількістю присвячених їй накових робіт може бути пояснена необхідністю оптимізації наявних ресурсів будівельних фондів. З огляду на перспективу підсилення, реконструкції і подальшої експлуатації пошкоджених залізобетонних елементів необхідна наявність значної бази теоретичних знань і наробок в галузі моделювання роботи таких елементів під зовнішнім навантаженням і їх нопружено-деформованого стану. Загалом, на основі проведеного огляду літератури з даної теми можна зробити висновок про необхідність подальшого розвитку дослідженням впливу наявності пошкоджень в залізобетонних елементах на їх несучу здатність. Крім того, необхідно також зазначити важливість більш докладної систематизації наявної інформації, формулюванню детальних класифікаторів можливих типів пошкоджень в елементах за причинами їх виникнення і алгоритмах врахування їх в розрахунках, конкретній конструкторській і проектній діяльності.

1. Bobalo T., Blikharsky Y., Kopyika N., Volynets M./Serviceability of RC Beams Reinforced with High Strength Rebar's and Steel Plate./ In: Blikharsky Z., Koszelnik P., Mesaros P. (eds)-Proceedings of CEE 2019-CEE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering,-2019-vol 47.-Springer, Cham/ https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_4.

2. Лободанов М.М., Вегера П.І., Бліхарський З.Я./Аналіз впливу основних видів дефектів та пошкоджень на залізобетонну здатність залізобетонних елементів /Вісник Національного університету «Львівська політехніка», серія «Теорія і практика будівництва»-2018-№ 888, 2018. ст. 93-100/ УДК 624.046.2:539.

Lobodanov M.M., Vegera P.I., Bliharisky Z.Y./ Analysis of the influence of basic types of defects and damages on reinforced concrete ability of reinforced concrete elements / Lviv Polytechnic National University Journal, series "Theory and Practice of Construction" -2018-№ 888, 2018 pages. 93-100 / UDK 624.046.2:539.

3. Chien-Kuo Chiu, Hsin-Fang Sung, Kai-Ning Chi and Fu-Pei Hsiao/ Experimental Quantification on the Residual Seismic Capacity of Damaged RC Column Members/ Int J Concr Struct Mater-2019- 13(17)/ <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0338-z>.

4. Kang Seok Lee/ An Experimental Study on Hybrid Noncompression CF Bracing and GF Sheet Wrapping Reinforcement Method to Restore Damaged RC Structures/ Hindawi Publishing Corporation-Shock and Vibration-2015-Volume 2015-Article ID 202751-13 pages/ <http://dx.doi.org/10.1155/2015/202751>.

5. Maeda M., Nakano Y., Lee K. S./Post-earthquake damage evaluation for RC buildings based on residual seismic capacity/ in Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering- Vancouver, Canada,-August 2004.

6. Cardone D./ Fragility curves and loss functions for RC structural components with smooth rebars/ Earthquakes and Structures-2016-Vol.10, No.5- pages 1181-1212/ <http://dx.doi.org/10.12989/eas.2016.10.5.1181>.

7. Felicetti R., Gambarova P.G./ High-Performance Light-Weight Concrete: Material and Sectional Properties during and after a Fire/ Proc. Int. Conf. on Advances in Concrete Structures- Xuzhou (China)-2003-V.1,-pages 89-99.

8. Felicetti R./ New NDT techniques for the assessment of fire damaged RC structures/ Technical Report- Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano-May 2005.

9. MZA Mohd Zahid, BH Abu Bakar, FM Nazri, MM Ahmad, K Muhamad/ Review of Repair Materials for Fire-Damaged Reinforced Concrete Structures/ IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering-2018-318(2018)012023/ doi:10.1088/1757-899X/318/1/012023.

10. Chunguang Lan, Zhi Zhou, Jinping Ou/ Full-Scale Prestress Loss Monitoring of Damaged RC Structures Using Distributed Optical Fiber Sensing Technology/ Sensors-2012- Vol.12- pages 5380-5394/ doi:10.3390/s120505380.

11. Воскобійник О.П./ Типологічне порівняння дефектів та пошкоджень залізобетонних, металевих та сталезалізобетонних балкових конструкцій / О. П. Воскобійник // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 662. - С. 97-103. - Бібліогр.: 11 назв. - укр. УДК 624.016:519.24.

Voskobiynyk O.P. / Typological comparison of defects and damages of reinforced concrete, metal and steel-reinforced concrete beam structures / O.P. Voskobiynyk //Nat. Lviv Polytechnic University Journal - 2010. - № 662. - pages 97-103. - Bibliography: 11 titles. – ukr.-UDK 624.016: 519.24.

12. Семиног М. М., Голоднов О. І./Діагностика технічного стану та визначення залишкового ресурсу будівельних конструкцій /Дороги і мости.- 2009.- Вип. 11. -С. 285-290. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2009_11_39/ УДК 69.059.2.

Semynog M.M., Golodnov O.I. / Diagnosis of technical condition and determination of residual life of building structures / Roads and bridges.- 2009.- Vol.11.-pages285-290. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2009_11_39/ UDK 69.059.2.

13. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с. – (Національний стандарт України).

Constructions of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Main design regulations: DBN V.2.6-98:2009. – [Valid after 2011-07-01]. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2009. – 97 pages. – (National Standart of Ukraine).

14. Воскобійник О.П./Класифікація дефектів сталезалізобетонних каркасів /О.П. Воскобійник/ Строительство. Материаловедение. Машиностроение.-Серия:

Иновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения.- 2012.- Вип. 65.- С. 155-160.- Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2012_65_25 / УДК 624.016:519.24.

Voskobiynyk O.P. / Classification of defects of steel-concrete frames / Voskobiynyk O.P. / Construction. Material science. Mechanical Engineering. - Series: Innovative Technologies for the Life Cycle of residential, civil, industrial and transport objects. 2012. 65.- pages 155-160.- Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2012_65_25 / UDK 624.016: 519.24.

15. Sadeghi, Kabir; Nouban, Fatemeh/ Damage and fatigue quantification of RC structures/ Structural Engineering and Mechanics-2016-Volume 58 Issue 6 -Pages.1021-1044/1225-4568(pISSN)/ 1598-6217(eISSN)/ <https://doi.org/10.12989/sem.2016.58.6.1021>.

16. Omrane Benjeddou, Mongi Ben Ouezdou, Aouicha Bedday/ Damaged RC beams repaired by bonding of CFRP laminates/ Construction and Building Materials-2007-Vol.21(2007) – pages 1301–1310/ DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2006.01.008.

17. Smitha Gopinath, Nagesh Iyer R., Ramachandra Murthy A., Aishwariya V.S./ Numerical Investigations on Damaged RC beams strengthened with textile reinforced concrete/ ISTE-SRM International Journal of Civil Engineering – 2015-Vol.1, Issue 1- Pages 26-48-ISSN 2394-3041 Print.

18. Jianhui S.I., Liang L.I., Maoshe L.I.U./ Testing on Axial Compression of Damaged RC Columns Reinforced by Winding Steel Wire/ MATEC Web of Conferences 67-SMAE 2016-07038 (2016)/ DOI: 10.1051/mateconf/2016667 707038.