

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003182

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 28-07-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Копійка Надія Сергіївна

2. Nadiia Kopyika

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-2270-4028

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 192

Назва наукової спеціальності: Будівництво та цивільна інженерія

Галузь / галузі знань: архітектура та будівництво

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Будівництво та цивільна інженерія

Дата захисту: 08-09-2025

Спеціальність за освітою: 192 Будівництво та цивільна інженерія

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 10521

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 67.11.31

Тема дисертації:

1. Несуча здатність залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, підсилених карбоновими стрічками
2. Load-bearing capacity of reinforced concrete beams with damaged reinforcement, strengthened with carbon tapes

Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена дослідженню несучої здатності залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, які підсилювались карбоновими стрічками. В роботі експериментальним шляхом проаналізовано ефективність застосування карбонових стрічок Sika Carbodur S512 для відновлення несучої здатності залізобетонних балок з різним ступенем пошкодження термічнозміцненої робочої арматури. Корозійні пошкодження арматури Ø20 A500C різного ступеня було змодельовано проточуванням до діаметрів 18, 16, 14, 12 мм, що дозволило оцінити вплив підсилення на несучу здатність і деформативність зразків з втратою площі арматури на 20%-65%, відповідно. Експериментальні дослідження проводились з використанням методики цифрової кореляції зображень (ЦКЗ) з паралельним вимірюваннями із застосуванням суб-мікронних індикаторів. У вступі обґрунтовано актуальність, мета і задачі досліджень, загальна характеристика та наукова новизна і практична цінність роботи. В розділі 1 проведено аналіз

попередніх досліджень у галузі відновлення та підсилення залізобетонних конструкцій, виконаних як в Україні, так і за кордоном. Детально проаналізовано основні механізми пошкодження залізобетонних елементів, зокрема корозію арматурної сталі – найпоширенішу причину зниження їхньої несучої здатності. Розглянуто існуючі підходи до підсилення пошкоджених елементів, серед яких традиційні методи реконструкції доповнені сучасними рішеннями на основі композитних матеріалів. Акцентовано увагу на широке впровадження карбонових стрічок, які демонструють ефективність у відновленні функціональності конструкцій з мінімальним втручанням у їхню геометрію. Окрема увага приділена недолікам традиційної діагностики та перевагам ЦКЗ, який забезпечує високу точність, автоматизований збір даних і придатність для повнорозмірних елементів. Розділ 2 описує розроблену експериментальну методику. Програма випробувань охоплює балки з пошкодженою арматурою, бетонні призми (600×150×150 мм) та кубики (150×150×150 мм) для оцінки характеристик бетону. На основі випробування призм побудовано повну діаграму деформування з низхідною віткою, що було досягнуто завдяки застосуванню методу цифрової кореляції зображень (ЦКЗ). Методика цифрової кореляції зображень (ЦКЗ) вдосконалена шляхом визначення оптимальних параметрів спекла (оптимальних співвідношень розмірів крапок, їх щільності і варіативності), що забезпечило точне та стабільне відстеження деформацій на поверхні бетону. Крім того, розширено метод ЦКЗ шляхом використання різних підходів до підготовки досліджуваної поверхні: з безпосереднім нанесенням спеклу і штучними маркерами, що забезпечило підвищену адаптивність у визначенні параметрів напружено-деформованого стану. Комплексний підхід до вимірювання – із паралельним застосуванням ЦКЗ та суб-мікронних індикаторів – забезпечив високоточну фіксацію напружено-деформованого стану дослідних елементів у реальному часі. Особлива увага приділена розробці методики підсилення із застосуванням Sika Carbodur S512 з обґрунтованою схемою анкерування, яка забезпечує сумісну роботу матеріалу з елементом і запобігає відшаруванню. У розділі 3 подано результати випробувань: визначено фізико-механічні характеристики бетону, поведінку балок до й після підсилення. Установлено, що при втраті площі арматури до 36% карбонові стрічки повністю відновлюють несучу здатність, а при ушкодженнях до 64% – досягається часткове відновлення на рівні 79–95%. Максимальний ефект зафіксовано у зразках з Ø12 мм. Прогини зменшились на 14–32%, а згинальний момент досягав граничного прогину у 2 рази пізніше. Ступінь використання композиту – 76–84% (за FIB Bulletin), що свідчить про його ефективність. Відхилення між ЦКЗ та традиційними методами – не більше 5–7%, що підтверджує надійність методу. У розділі 4 запропоновано розрахункову методику оцінки несучої здатності пошкоджених і підсилених балок згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010 та ДБН В.2.6-98:2009. Запропоновано використання деформаційної моделі, що враховує неоднорідність характеристик арматури у поперечному перерізі, через застосування регресійної моделі межі текучості у формі рівняння Больцмана. Проведено порівняння розрахункових та експериментальних даних: відхилення моментів текучості та граничної несучої здатності не перевищують 15%. Це підтверджує обґрунтованість нормативних підходів і наявність конструктивного запасу. Аналіз прогинів і деформацій засвідчив, що теоретичні моделі адекватно описують поведінку балок до руйнування бетону, хоча після цього експериментальні прогини дещо перевищували розрахункові (до 15%). Водночас, фактичні деформації композитної стрічки були меншими за теоретичні на 12%, що підтверджує її ефективну роботу в умовах підвищених навантажень. Крім того, зафіксована висока тріщиностійкість підсилених зразків. Збіг між експериментальними та розрахунковими результатами в частині тріщиноутворення підтвердив доцільність використання розробленої регресійної моделі для оцінки пошкоджених конструкцій.

2. The dissertation investigates the bearing capacity of reinforced concrete (RC) beams with corrosion-damaged reinforcement, strengthened using carbon fibre-reinforced polymer (CFRP) tapes. The study experimentally evaluates the efficiency of Sika Carbodur S512 composite tapes in restoring the load-carrying capacity of RC beams with varying degrees of damage to hardened Ø20 mm A500CS steel bars. The damage was simulated by grinding the reinforcement to diameters of 18, 16, 14, and 12 mm, corresponding to a 20–65% loss of cross-sectional area. The experimental investigation involved digital image correlation (DIC) and sub-micron indicators to capture strain and deflection with high accuracy. The introduction outlines the relevance, goals, and objectives of the study, emphasizing its scientific novelty and practical significance. Chapter 1 presents a literature review of

methods for repairing and strengthening RC structures in Ukraine and internationally. The mechanisms of reinforcement corrosion, including section loss, bond deterioration, and cracking, which compromise structural integrity, particularly in aggressive environments are described. Conventional and advanced strengthening strategies are reviewed, highlighting the advantages of CFRP materials such as high strength, corrosion resistance, and ease of installation. The effectiveness of reinforcement techniques is shown to be highly dependent on accurate condition assessment, and the DIC method is proposed as a promising non-destructive tool for real-time, full-field strain monitoring. Its global applications, benefits—such as automated data collection and suitability for full-scale specimens—and integration with advanced diagnostics are discussed. In Chapter 2 the experimental methodology was described. The test program included 12 full-scale RC beams with reinforcement reduced to diameters ranging from 18 to 12 mm to model progressive corrosion. Additionally, 9 concrete prisms (600×150×150 mm) and 15 cubes (150×150×150 mm) were cast to evaluate concrete mechanical properties. The DIC method was enhanced through optimization of speckle pattern parameters and surface preparation techniques (direct application and artificial markers), ensuring stable deformation tracking on concrete surfaces, even for large specimens. Sub-micron indicators were used in parallel with DIC for redundancy and increased accuracy. This dual approach enabled precise real-time monitoring of the stress–strain behaviour of beams up to failure. Special attention was given to the strengthening technique with Sika Carbodur S512 tapes, applied with a validated anchorage layout to ensure composite-concrete compatibility and prevent premature debonding. Chapter 3 presents experimental results for both concrete and full-scale beams. The enhanced DIC method provided detailed stress–strain diagrams. For beams with up to 36% reinforcement loss, CFRP strengthening fully restored or even exceeded original capacity. For beams with up to 64% loss, partial recovery was achieved (79–95% of original capacity). The most substantial gains were observed in beams with the greatest initial damage (Ø12 mm). Comparative analysis showed that CFRP strengthening reduced deflections by 14–32% compared to unstrengthened specimens and doubled the load-carrying capacity at ultimate deflection. Composite utilization efficiency reached 76–84% (FIB Bulletin), confirming effective performance under elevated loads. Deviation between DIC and traditional measurement methods remained within 5–7%, validating the reliability of DIC as a monitoring tool for strengthened structures. Chapter 4 introduces a methodology for calculating the load-bearing capacity of damaged RC beams based on a deformation model aligned with DSTU B V.2.6-156:2010 and DBN V.2.6-98:2009. A key feature is the incorporation of a regression-based yield strength model using the Boltzmann equation to reflect cross-sectional heterogeneity in corroded reinforcement. Experimental and theoretical results showed close agreement, with deviations under 15%, thus confirming the reliability of existing design codes and the embedded safety margins. Analysis of deflection and strain patterns revealed that theoretical predictions accurately described beam behaviour up to concrete failure, though experimental deflections exceeded calculated values beyond this point by up to 15%. For CFRP strips, actual strains were lower than theoretical estimates by up to 12%, indicating high effectiveness of the strengthening system. Crack development analysis confirmed improved crack resistance in strengthened beams. The agreement between observed and predicted cracking patterns validated the application of the developed regression model in structural design. The findings support the use of CFRP and DIC in restoring the safety and serviceability of corrosion-damaged RC members and can inform future codes, diagnostics, and rehabilitation strategies.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Не застосовується

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

1. Blikharsky Y., Kopsiika N., Selejdak J. (2020) Non-uniform corrosion of steel rebar and its influence on reinforced concrete elements' reliability. *Production Engineering Archives*, 26(2), 67-72. <https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.14>
2. Blikharsky Y., Selejdak J., Kopsiika N. (2021) Specifics of Corrosion Processes in Thermally Strengthened Rebar. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00646, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00646>
3. Blikharsky Y., Selejdak J., Kopsiika N. (2021) Corrosion fatigue damages of rebars under loading in time. *Materials*, 14(12), 3416; <https://doi.org/10.3390/ma14123416>
4. Kopsiika N., Vegera, P., Vashkevych, R., Blikharsky, Z. (2021) Stress-strain state of damaged reinforced concrete bended elements at operational load level. *Production Engineering Archives*, 27(4), 242-247. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.32>
5. Blikharsky Y., Kopsiika N., Khmil R., Selejdak J., Blikharsky Z. (2022) Review of Development and Application of Digital Image Correlation Method for Study of Stress-Strain State of RC Structures. *Applied Sciences*, 12(19), 10157. <https://doi.org/10.3390/app121910157>
6. Kopsiika, N., Selejdak, J., Blikharsky, Y. (2022). Specifics of physico-mechanical characteristics of thermally-hardened rebar. *Production Engineering Archives*, 28(1), 73-81. <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.09>
7. Blikharsky, Y., Kopsiika, N., Khmil, R., Blikharsky, Z. (2023). Digital Image Correlation Pattern for Concrete Characteristics—Optimal Speckle. In *International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów*, 22-31. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_3
8. Kopsiika, N., Blikharsky, Y. (2024) Digital image correlation for assessment of bridges' technical state and remaining resource. *Structural Control and Health Monitoring*, 2024(1), 1763285. <http://dx.doi.org/10.1155/2024/1763285>
9. Kopsiika, N., Blikharsky, Y., Khmil, R., Tereshko, A. (2024). Design of Experiment for Facilitating Effective Research Program Development. In *International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering*, 266-280. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_24
10. Kopsiika, N., Klym, A., Blikharsky, Y., Katunský, D., Popovych, V. Blikharsky, Z. (2024) Evaluation of the stress-strain state of the RC beam with the use of DIC. *Production Engineering Archives, Sciendo*, 30(4), 463-476. <https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.44>
11. Kopsiika, N., Blikharsky, Y., Selejdak, J., Khmil, R., Blikharsky, Z., Katunsky, D. (2024). CFRP Materials for Restoration of the Bearing Capacity of RC Beams With Damaged Rebar. *Journal of Engineering*, 2024(1), 4915391. <http://dx.doi.org/10.1155/2024/4915391>
12. Kopsiika, N., Blikharsky, Y., Selejdak, J., Khmil, R., Blikharsky, Z. (2025). Reliability-based analysis and residual life forecasting for corrosion-affected RC structures. In *Structures*, 76, 108965. <http://dx.doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108965>
13. Kopsiika, N., Blikharsky, Y., Khmil, R., Blikharsky, Z. (2025). Probabilistic assessment of RC beams with corroded thermally strengthened reinforcement. In *Structures*, 77, 109104. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109104>
14. Kopsiika N., Blikharsky Y., Sobko Y., Khmil R., Blikharsky Z. (2025) Impact of CFRP-strengthening on Crack Formation in RC Structures. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. (1499), No 01202. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1499/1/012021>
15. Бліхарський Я. З., Копійка Н. С. (2019) Дослідження методик моніторингу і моделювання корозійних процесів в залізобетонних елементах. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, (77), 29-37. <http://dx.doi.org/10.31650/2415-377X-2019-77-29-37>
16. Бліхарський Я. З., Копійка Н. С. (2019) Дослідження пошкоджених залізобетонних елементів, основні методи їх відновлення та підсилення. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*:

збірник наукових праць, 37, 316–322. <http://dx.doi.org/10.31713/budres.v0i37.300>

- 17. Blikharskyy, Y. Z., Kopyika, N. S. (2020). Influence of steel rebar uniform corrosion on reinforced concrete structures strength. Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, (79), 34-42. <http://dx.doi.org/10.31650/2415-377X-2020-79-34-42>
- 18. Blikharskyy Y., Kopyika N. (2020) Digital image correlation method for analysis of reinforced concrete structures. Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, (78), 27–33. <http://dx.doi.org/10.31650/2415-377X-2020-78-27-33>
- 19. Blikharskyy Y., Kopyika N. (2021) Methods for determination of deformations with the use of Digital Image Correlation technologies. Theory and Building Practice, 3(2), 67-75. <https://doi.org/10.23939/jtbp2021.02.067>
- 20. Kopyika, N., Blikharskyy, Y. (2022). Effectiveness of strengthening of reinforced concrete beams with the use of composite materials. Theory and Building Practice, 4(2), 7-16. <https://doi.org/10.23939/jtbp2022.02.007>
- 21. Blikharskyy Y., Kopyika N. (2022) Analysis of the most common damages in reinforced concrete structures. Theory and Building Practice, 4(1), 35-42. <https://doi.org/10.23939/jtbp2022.01.035>
- 22. Kopyika N., Blikharskyy, Y. (2023). Perspectives and specific features of the use of composite materials for strengthening of damaged reinforced concrete structures. Theory and Building Practice, (2), 27-34. <http://dx.doi.org/10.23939/jtbp2023.02.027>
- 23. Бліхарський Я. З., Вашкевич Р.В. Копійка Н.С. БобалоТ.В., Бліхарський З.Я. Визначення залишкової міцності залізобетонних балок з пошкодженням, що виникли при дії навантаження (2020). International Scientific Conference EET-2020 «Energy Efficiency In Transport», 67-69, November 18-20, 2020, Kharkiv, Ukraine
- 24. Бліхарський Я.З., Хміль Р.Є., Копійка Н.С., Бліхарський З.Я. Експериментальні дослідження залізобетонних згинальних елементів з пошкодженою робочою арматурою. Тези VII Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, Україна, 12-15 травня, 2020 року), 172-173
- 25. Kopyika N., Blikharskyy Y.Z. (2024, April). The use of CFRP materials for strengthening of RC beams with corrosion damages of rebar. Тези Міжнародної Науково-технічної конференції «Структурування та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (Одеса, Україна, 23 квітня 2024 року), 67-70.

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: підвищення надійності та продовження ресурсу інфраструктурних об'єктів шляхом впровадження ефективних технологій відновлення залізобетонних конструкцій

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U109498

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бліхарський Ярослав Зіновійович

2. Yaroslav Blikharskyu

Кваліфікація: д. т. н., доц., 05.23.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3374-9195

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гриньова Ірина Іванівна

2. Iryna Grynyova

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.23.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7637-6029

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Одеська державна академія будівництва та архітектури

Код за ЄДРПОУ: 02071033

Місцезнаходження: вул. Дідріхсона, буд. 4, Одеса, 65029, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Азізов Талят Нуредінович

2. Taliat Azizov

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.23.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9621-9805

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

Код за ЄДРПОУ: 02125639

Місцезнаходження: вул. Садова, буд. 2, Умань, Уманський р-н., 20300, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Була Сергій Степанович
2. Serhii Bula

Кваліфікація: к.т.н., доц., 05.23.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0607-5324

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Парнета Богдан Зіновійович
2. Bogdan Z. Parneta

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.23.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2696-2449

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Шналь Тарас Миколайович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Шналь Тарас Миколайович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Реєстратор

Марущак Уляна Дмитрівна

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна