

**ЗАТВЕРДЖУЮ**



Проректор з наукової роботи

Національного університету

"Львівська політехніка"

д.т.н., проф.

Іван ДЕМИДОВ

"08"

"05"

2025 р.

**Висновок**

**наукового семінару кафедри автомобільних доріг та мостів  
Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем  
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації  
«Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених  
композитними матеріалами»  
здобувача ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 192 *Будівництво та цивільна інженерія*  
(галузь знань 19 *Будівництво та архітектура*)  
Андрія КЛИМА**

**1. Актуальність теми дисертації.**

Залізобетонні конструкції, особливо такі, як балки, відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості та надійності будівель і споруд. З часом, під впливом експлуатаційних навантажень і зовнішніх чинників, стиснута зона бетону є однією із вразливих частин залізобетонної балки та піддається деформаціям та руйнуванню. Найчастіше виникнення пошкоджень починається при утворенні мікротріщин і надмірне їх розкриття з плином часу, що призводить до роздроблення бетону та попадання вглиб бетону агресивного середовища і в свою чергу до корозії арматури із зменшенням перерізу та втрати адгезії між бетоном і арматурою.

На сьогоднішній день відновлення пошкодженої стиснутої зони бетону в залізобетонних балках є актуальним питанням, яке потребує нових підходів та технологічних рішень. Використання ремонтного однокомпонентного цементного розчину з армованою фіброю і низькою усадкою Sika MonoTop-4012 дозволяє досягти високого рівня адгезії між новим і старим бетоном, забезпечуючи таким чином відновлення несучої здатності балки до початкового рівня експлуатаційних показників.

Важливість цієї тематики визначається необхідністю забезпечення надійності та довговічності залізобетонних балок, які перебувають на межі експлуатаційного ресурсу з неможливістю сприймати зовнішнє навантаження через пошкодження та дефекти, як в

бетоні, так і в арматурі. В результаті воєнних дій значна частина цивільних і промислових об'єктів України зазнала пошкоджень різного ступеня, зокрема внаслідок вибухових хвиль, уламкових навантажень, локальних ударів і пожеж. Особливу небезпеку експлуатації становить руйнування стиснутої зони у залізобетонних балках, які часто є ключовими елементами несучої системи будівель.

Одним із ключових аспектів такого підходу є встановлення реального напружено-деформованого стану елементів після виконання ремонтних робіт. Враховуючи швидкий розвиток технологій та матеріалів, необхідно не лише застосовувати існуючі методики, але й проводити дослідження щодо їхньої ефективності в умовах реальної експлуатації. Це дозволяє точніше оцінити напружено-деформований стан залізобетонних балок після підсилення та розробити рекомендації щодо їхнього подальшого використання.

У межах дослідження розглянуті основні причини пошкоджень, вплив агресивних середовищ на залізобетонні балки та сучасні підходи до їх відновлення та ремонту. Особливу увагу приділено експериментальним дослідженням ефективності відновлення несучої здатності залізобетонних балок за допомогою високоміцного розчину Sika MonoTop-4012 та матеріалів на епоксидній основі, а також аналізу експлуатаційних характеристик відновлених конструкцій.

Таким чином, актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю встановлення дійсного напружено-деформованого стану та несучої здатності відновлених залізобетонних балок при впровадженні методів відновлення згинаних залізобетонних елементів, що забезпечують їхню надійність та довговічність в умовах сучасного будівництва.

## **2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри.**

Робота відповідає науковому напрямку кафедри «Автомобільні дороги та мости» Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем Національного університету «Львівська політехніка», дослідження матеріалів та будівельних конструкцій з використанням методу цифрової кореляції зображень. Дисертацію виконано в межах науково-дослідної роботи Національного Фонду досліджень України 2023.05/0026 «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» (номер державної реєстрації 0124U003830) Конкурсу «Дослідницькі інфраструктури для проведення передових наукових досліджень», яка виконується у Національному університеті «Львівська політехніка» з 2024 – дотепер.

### **3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.**

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні та обґрунтуванні методології відновлення несучої здатності залізобетонних балок шляхом відновлення стиснутої зони бетону із застосуванням ремонтного розчинів і ремонту дефектів, використовуючи композитні матеріали на основі епоксидної смоли. Усі наукові ідеї, методи та основні положення, результати досліджень, висновки, що викладені в дисертації, отримано автором самостійно. Здобувачем самостійно виконано аналіз існуючих наукових робіт та нормативних документів, які використовувалися як основа для розроблення та експериментально-теоретичного дослідження теми. Здобувач безпосередньо брав участь у проведенні експериментальних робіт, включаючи постановку мети та завдання досліджень, аналізі експериментальних та теоретичних результатів, а також у розробці методів відновлення і підсилення залізобетонних конструкцій. Здобувачем було проведено аналіз дійсного напружено-деформованого стану відновлених залізобетонних балок, а також досліджено вплив залишкових деформацій в арматурі на запас міцності. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувач зробив вагомий внесок у формулювання наукових проблем, обґрунтування вибору матеріалів і методів для відновлення несучої здатності залізобетонних балок, розроблення методів їх вирішення, та узагальнення отриманих даних результатів дослідження.

Визначення мети, завдань та черговості проведення досліджень, планування етапів виконання роботи, обговорення отриманих результатів, написання статей і тез доповідей на конференціях здійснювалося разом з науковим керівником – д.т.н., професором Бліхарським Ярославом Зіновійовичем.

### **4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій.**

Достовірність забезпечується використанням стандартних методів досліджень залізобетонних конструкцій із використанням сучасного обладнання і комп'ютерного програмного забезпечення, задовільною збіжністю експериментальних та теоретичних результатів, задовільною збіжністю отриманих даних за методом цифрової кореляції зображень та суб-мікронними індикаторами, а також із застосуванням методів математичної статистики. Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтовані, а їх достовірність підтверджена результатами експериментальних досліджень та численних апробацій. Отримані автором результати корелюються із результатами інших авторів. У цілому сукупність результатів є незаперечною і добре узгоджується із теоретичними

результатами проведених на основі чинних нормативних документів. Ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, розроблених автором, не викликає сумнівів.

## **5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру.**

Наукова новизна отриманих результатів:

- Вдосконалено методику аналізу напружено-деформованого стану зруйнованих залізобетонних балок з відновленням стиснутої зони бетону із застосуванням методу цифрової кореляції зображень та встановлення контрольних точок нульових деформацій впродовж випробування;
- Розроблено метод відновлення зруйнованих залізобетонних балок за крихким руйнуванням стиснутої зони бетону із заміною на однокомпонентний цементний армований фіброю розчин з низькою усадкою, а також запропоновані методи ремонту дефектів композитними матеріалами на основі епоксидної смоли;
- Отримано нові результати дійсного напружено-деформованого стану відновлених в стиснутій зоні залізобетонних балок, ремонтним розчином Sika MonoTop-4012, з відновленням несучої здатності зразків до початкових експлуатаційних показників;
- Подано пропозиції щодо розрахунку відновлених залізобетонних балок, однокомпонентним цементним армованим фіброю розчином з низькою усадкою для бетону, після зруйнованої стиснутої зони бетону;
- Отримано експериментальні результати, які свідчать про зміщення діаграми «напруження–деформація» при повторному навантаженні арматури в залізобетонних балках, внаслідок залишкових пластичних деформацій, а також встановлено підвищення межі текучості в результаті дислокаційного зміцнення структури сталі, зумовленого ефектом наклепу.

## **6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації.**

Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень опубліковані у 9 наукових працях, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз SCOPUS та Web of Science.

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Klym A., Blikharskyu Y., Selejdak J., Blikharskyu Z. Strengthening and repairing the serviceability of reinforced concrete constructions: a review // Theory and Building Practice. – 2022. – Vol. 4, № 1. – P. 80–85. (Index Copernicus International). *(Klym A. - сформулював мету досліджень та виконав аналіз результатів досліджень впливу пошкоджень на несучу здатність з метою формулювання задач дослідження; Blikharskyu Y. - підготовка основного тексту статті, оформлення ілюстрацій та таблиць, Selejdak J. - рецензування тексту статті та внесення коректив, Blikharskyu Z. - надав наукові консультації щодо класифікації типів пошкоджень і методів їх відновлення, сформулював висновки).*
2. Klym A., Blikharskyu Y. Injection of cracks in a RC beam with epoxy resin using the gravity flow method // Theory and Building Practice. – 2023. – Vol. 5, № 2. – P. 85–92. *(Klym A. - виконав постановку наукової задачі, провів експериментальні дослідження із застосуванням методу самопливу, виконав аналіз отриманих результатів; Blikharskyu Y. - надав наукові консультації щодо вибору матеріалів і технології ін'єктування, здійснив рецензування та редагування змісту статті).*
3. Клим А. Б., Бліхарський Я. З., Бобало Т. В. Розрахунок несучої здатності залізобетонної балки за наявності пошкодження стиснутої зони бетону // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 43. – С. 149–157. *(Клим А. Б. - розробив розрахункову модель визначення несучої здатності залізобетонної балки з пошкодженою стиснутою зоною бетону, виконав аналітичні дослідження; Бліхарський Я. З. - здійснив рецензування та наукове редагування змісту статті та узагальнив результати; Бобало Т. В. - виконав підбір вихідних даних для розрахунків, виконала технічне редагування та перевірку відповідності вимогам оформлення).*
4. Klym A., Blikharskyu Y. Methodology for the application of the digital image correlation (DIC) for investigating RC beams // Theory and Building Practice. – 2024. – Vol. 6, № 2. – P. 69–80. *(Klym A. - виконав дослідження для вдосконалення методики застосування цифрової кореляції зображень (ЦКЗ), підготовку основного тексту статті, зробив висновки; Blikharskyu Y. надав методичні консультації щодо застосування DIC у будівельній механіці, здійснив рецензування).*
5. Kopyika N., Klym A., Blikharskyu Y., Katunský D., Popovych V., Blikharskyu Z. Evaluation of the stress-strain state of the RC beam with the use of DIC // Production Engineering Archives. – 2024. – Vol. 30, iss. 4. – P. 463–476. *(Kopyika N. - розробка методології та експериментального дизайну, виконала теоретичний розрахунок та оформлення основного тексту; Klym A. - проведення основної частини*

експериментальних робіт та обробка отриманих даних, виконано моделювання в програмному комплексі Femap ;Blikharskyu Y. - забезпечив наукове консультування щодо застосування експериментального обладнання та методики ЦКЗ.; Katunsky D. – виконано візуалізації результатів експерименту та підготовки графічного матеріалу; Porovych V. - участь у оформленні бібліографічних посилань; Blikharskyu Z. - надав наукові консультації та здійснив редагування змісту статті).

*Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав:*

6. Klym A., Blikharskyu Y., Panchenko O., Sobko Y. The analysis of the influence of damaged concrete compression zone on the RC beam using FEM // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2024. – Vol. 438 : Proceedings of CEE 2023 Civil and environmental engineering and architecture, 6-8 September 2023, Rzeszów, Poland. – P. 164–177. (Klym A. - виконав числове моделювання та аналіз напружено-деформованого стану, оформив основний текст статті та узагальнив висновки ;Blikharskyu Y. - забезпечив наукове супроводження дослідження, зокрема участь у формуванні критеріїв оцінювання результатів моделювання; Panchenko O. - обробив графічні результати числового моделювання; Sobko Y. - перевірів відповідність оформлення матеріалів вимогам конференції та виконав технічне редагування).

7. Klym A., Blikharskyu Y., Panchenko O., Sobko Y., Blikharskyu Z. Load-bearing capacity of the repaired RC beam using Sika MonoTop 4012 // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2024. – Vol. 604 : EcoComfort and current issues of civil engineering : 4th International scientific conference, Lviv, 11-13 September 2024. – P. 212–224. (Klym A. - проведення основної частини експериментальних робіт та обробка отриманих даних, оформив основний текст статті та узагальнив висновки ;Blikharskyu Y. – розробив методологію і експериментальну програму, переклад тексту; Panchenko O. - аналіз результатів та їх інтерпретація; Sobko Y. - підготовка основного тексту статті, оформлення ілюстрацій та таблиць; Blikharskyu Z. - постановив наукову задачу та виконав рецензування тексту статті та внесення коректив).

8. Klym, A., Blikharskyu, Y., Gunka, V., Poliak O., Selejdak, J., Blikharskyu, Z. An Overview of the Main Types of Damage and the Retrofitting of Reinforced Concrete Bridges // Sustainability (Switzerland) . – 2025. – Vol. 17, iss. 6. – 2506. (Klym A. - здійснив систематизацію основних типів пошкоджень залізобетонних мостів та сучасних методів їх підсилення, виконав критичний аналіз наукових джерел, структурував зміст публікації; Blikharskyu Y. - ініціатор ідеї дослідження, постановка наукової задачі; Gunka, V. - участь у оформленні бібліографічних посилань; Poliak O. – переклад тексту, перевірка відповідності статті вимогам журналу; Selejdak, J. - підготовка основного тексту статті, оформлення ілюстрацій та таблиць; Blikharskyu, Z. – написання висновків і рецензування тексту статті та внесення коректив).

### *Тези конференцій:*

9. Клим А. Б., Бліхарський Я. З., Відновлення несучої здатності залізобетонних балок з використанням Sika MonoTop-4012 міжнародна науково-технічна конференція.///Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій/// м. Одеса 23-24 квітня 2024. – С. 62-66 (Клим А. Б. - виконав серію експериментальних досліджень, проаналізував отримані результати та підготував основний текст доповіді; Бліхарський Я. З. - надав науковій консультації щодо застосування ремонтних матеріалів у конструкціях, здійснив редагування та узгодження структури матеріалу доповіді).

### **7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо.**

Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на: міжнародній науковій конференції „18th International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv - Košice – Rzeszów ” (м. Жешув, Польща, 2023 р.); міжнародній конференції «IV Міжнародна наукова конференція ЕкоКомфорт та актуальні питання в будівництві» (м. Львів, 2024 р.); міжнародній конференції «18th International Conference Quality Production Improvement - QPI 2024 (м. Янов, Польща, 2024 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (м. Одеса, 2024 р.); Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція «ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (м. Рівне, 2024 р.); міжнародна конференція «International Conference on Urban Infrastructure Sustainable Development and Renovation (MistoBud-2025)» (м. Харків, 2025 р.); на семінарах кафедри «Автомобільні дороги та мости» Національного університету «Львівська політехніка» (2021 – 2025 рр.).

### **8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати.**

Результати досліджень дисертації за участю автора використані при розробленні рішень щодо відновлення та підсилення будівель проєктно-інжиніринговою компанією ТОВ «Сіменерго» та ТОВ «Інститут проєктування «Комфортбуд». Матеріали даних досліджень є частиною гранту Національного Фонду досліджень України, що виконується з 2024 та використовуються у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка». Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес, зокрема в дисципліни «Діагностика технічного стану автомобільних

доріг і штучних споруд», «Проектування та дослідження залізобетонних мостів та споруд» для студентів спеціальності 192 *Будівництво та цивільна інженерія*.

## **9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані**

Практична цінність полягає в розробці методики відновлення стиснутої зони бетону в згинаних залізобетонних елементах, а також методик для ремонту локальних дефектів, які виникають внаслідок руйнування стиснутої зони в результаті надмірного пошкодження. Встановлення дійсного напружено-деформованого стану дозволяє оцінити ефективність запропонованих підходів до відновлення та визначити можливість відновлення несучої здатності пошкоджених елементів.

Застосування результатів дослідження може бути впроваджене в практичну діяльність у сфері будівництва та реконструкції, зокрема під час ремонту, технічного обслуговування та підсилення залізобетонних конструкцій, які зазнали часткового руйнування або мають критичні локальні пошкодження. Запропоновані рішення є актуальними для об'єктів транспортної інфраструктури, промислового, житлового та громадського будівництва, особливо в умовах подовження терміну експлуатації споруд без повної їх заміни. Результати можуть бути використані у проєктній практиці, при розробці технічних рішень з підсилення, а також у процесі експлуатаційного обстеження та відновлення пошкоджених будівельних елементів з урахуванням сучасних вимог до надійності та безпеки конструкцій.

## **10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаної літератури та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 202 сторінки друкованого тексту, зокрема: 145 сторінки основної частини, що має 108 рисунків і 11 таблиць; 23 сторінки списку використаної літератури, що містить 221 джерело, та 13 сторінок додатків.

**У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.**

## **11. З урахуванням зазначеного,**

**На науковому семінарі кафедри автомобільних доріг та мостів Навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем, ухвалили:**

**11.1.** Дисертація Кліма Андрія Богдановича «Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами» є завершеною науковою працею, у якій вирішено конкретне наукове завдання, а саме встановлення дійсного напружено-



деформованого стану відновлених залізобетонних згинаних елементів та розробки ефективної методики відновлення стиснутої зони бетону в таких конструкціях для відновлення несучої здатності до експлуатаційних показників, що має важливе значення для галузі знань 19 – Архітектура та будівництво.

- 11.2. Основний зміст роботи викладений у 9 друкованих наукових працях, з яких: 3 включені до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 5 у наукових фахових виданнях України.
- 11.3. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).
- 11.4. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Кліма Андрія Богдановича дисертація «Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

|            |    |               |
|------------|----|---------------|
| За         | 21 | Двадцять один |
| Проти      | -  | немає         |
| Утримались | -  | немає         |

Головуюча на науковому семінарі кафедри,  
д.т.н., професор, зав. каф. АДМ



**Христина СОБОЛЬ**

Рецензенти:

к.т.н, доцент, доцент каф. БКМ



**Ростислав ВАШКЕВИЧ**

к.т.н, доцент, доцент каф. БКМ



**Павло ВЕГЕРА**

Відповідальний у ННІ будівництва та  
інженерних систем за атестацію PhD

д.т.н., проф., професор каф. БВ

24.04.2025р.



**Уляна МАРУЩАК**