

ВІДГУК

рецензента

доцента кафедри Будівельних конструкцій та мостів інституту будівництва та інженерних систем Національного університету „Львівська політехніка”

Вашкевича Ростислава Віталійовича

на дисертаційну роботу **Клима Андрія Богдановича**

„Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами”, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Актуальність вибраної теми дисертаційної роботи

В результаті активних воєнних дій на території нашої держави значна частина цивільних і виробничих будівель зазнала пошкоджень різного ступеня інтенсивності, зокрема внаслідок вибухових хвиль, ударних динамічних навантажень, локальних пошкоджень і впливу високих температур під час пожеж. Особливу небезпеку експлуатації залізобетонних балкових конструкцій становить руйнування стиснутої зони. Такі пошкодження спричиняють втрату цілісності перерізів та зменшення жорсткості конструкцій. Після завершення бойових дій важливим завданням є не лише фізичне відновлення пошкоджених конструкцій, а й експериментально-теоретично обґрунтована оцінка їхньої залишкової несучої здатності та прогнозування їхнього залишкового ресурсу.

Враховуючи швидкий розвиток нових технологій та матеріалів для відновлення пошкоджених залізобетонних конструкцій необхідно проводити експериментальні та теоретичні дослідження щодо ефективності та доцільності їх застосування в реальних умовах експлуатації. Це дозволить точніше оцінити напружено-деформований стан залізобетонних балок після підсилення та розробити рекомендації щодо їхнього подальшого використання.

Виходячи із вище наведеного, дисертаційна робота здобувача Андрія Клима „Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами” є актуальною для вивчення характеру роботи залізобетонних балок

з пошкодженнями в стиснутій зоні, які були відновлені сучасними матеріалами, та прогнозування їхньої поведінки після підсилення та відновлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Андрія Кліма „Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами” та отримані в ній результати відповідають науковому напрямку кафедри автомобільних доріг та мостів Національного університету «Львівська політехніка». 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).

Мета і завдання дослідження

Метою дисертаційної роботи є дослідження несучої здатності відновлених залізобетонних балок, пошкоджених внаслідок руйнування стиснутої зони бетону, а також встановлення їх дійсного напружено-деформованого стану після відновлення.

Для вирішення мети дослідження було поставлено та виконано наступні завдання:

- виконано аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел про існуючий стан досліджень щодо впливу пошкоджень бетону та арматури на несучу здатність згинаних залізобетонних елементів;
- розроблено програму та методику досліджень з використанням методу цифрової кореляції зображення (DIC) та застосування комп'ютеризованих суб-мікронних індикаторів при дослідженні напружено-деформованого стану згинаних залізобетонних конструкцій;
- розроблено та апробовано методику відновлення стиснутої зони бетону;
- проведено експериментальне дослідження залізобетонних балок для встановлення їх несучої здатності та дійсного напружено-деформованого стану, після відновлення пошкодженої стиснутої зони бетону;

- проведено теоретичний розрахунок несучої здатності залізобетонних балок після відновлення стиснутої зони бетону ремонтними розчинами, оцінено дійсний напружено-деформований стан конструкції після відновлення.

Методи дослідження

Проведення аналізу літературних джерел експериментально-теоретичних досліджень за тематикою досліджень, експериментальні випробовування залізобетонних згинаних елементів із застосуванням лабораторного обладнання і пристроїв для визначення деформацій за допомогою суб-мікронних індикаторів та методу цифрової кореляції зображення, теоретичний розрахунок залізобетонних елементів за граничними станами згідно нормативних документів та їх порівняльний аналіз з експериментальними результатами.

Наукова новизна отриманих результатів:

- 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 експериментальні результати дослідження несучої здатності залізобетонних балок, відновлених в стиснутій зоні ремонтними розчинами, з підтвердженням можливості відновлення несучої здатності до початкових експлуатаційних показників;
- отримано експериментальні результати, які свідчать про зміщення діаграми «напруження–деформація» арматури при повторному навантаженні залізобетонних балках, внаслідок наявності залишкових пластичних деформацій, а також встановлено підвищення межі текучості в результаті дислокаційного зміцнення структури сталі, зумовленого ефектом наклепу;
- 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;

- вдосконалено метод розрахунку відновлених після руйнування стиснутої зони бетону залізобетонних балок, який враховує наявність залишкових деформацій та зміну межі текучості арматури балок.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розроблені та впровадженні ефективного методу відновлення несучої здатності залізобетонних балок, які зазнали пошкоджень чи цілковитого руйнування у стиснутій зоні. Використання ремонтного розчину та композитних матеріалів на основі епоксидної смоли дозволяє підвищити довговічність та надійність відновлених конструкцій. Це забезпечує економічно вигідне та екологічно доцільне рішення для продовження експлуатаційного ресурсу існуючих будівель та споруд без необхідності повного демонтажу і нового будівництва. Результати досліджень можуть бути застосовані в практиці проектування та виконання ремонтних робіт, що дозволить скоротити терміни виконання робіт, зменшити витрати на матеріали та реалізацію процесу відновлення та підвищити тривалість експлуатації наявних цивільних і промислових об'єктів.

Результати досліджень дисертації за участю автора використані при розробленні рішень щодо відновлення та підсилення будівель проектно-інжиніринговою компанією ТОВ «Сіменерго» та ТОВ «Інститут проектування «Комфортбуд». Матеріали даних досліджень є частиною гранту Національного Фонду досліджень України 2023.05/0026 «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» (номер державної реєстрації 0124U003830) та використовуються у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка». Підтвердженням цього є довідки і акти впроваджень, надані в додатках до дисертаційної роботи.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота здобувача Кліма А.Б. складається з анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел із 221 найменування та 4 додатків. Робота викладена на 202 сторінках

тексту, у тому числі містить 145 сторінок основного тексту, 23 сторінки списку використаних джерел, 11 таблиць, 108 рисунків та 13 сторінок додатків.

У вступі (9 сторінок) визначені об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету та завдання досліджень, описані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів експериментально-теоретичних досліджень.

У першому розділі (26 сторінок) проведено огляд існуючих наукових досліджень відповідно до теми дослідження про розрахунок і стан надійності експлуатації залізобетонних конструкцій із врахуванням їх пошкоджень та дефектів. Акцентовано увагу на пошкодження у стиснутій зоні бетону згинаних залізобетонних елементів.

У другому розділі (42 сторінки) дисертаційної роботи подано обсяг дослідження, описано дослідні зразки та методи їх дослідження. За програмою дослідження було виготовлено та досліджено 16 залізобетонних балок (2 не пошкоджені контрольні і 14 пошкоджених із руйнуванням стиснутої зони бетону) розмірами $2100 \times 200 \times 100$ мм.

У третьому розділі (33 сторінки) подано результати експериментальних випробувань залізобетонних балок, які пройшли процес відновлення стиснутої зони бетону та дефектів, за наявності пошкодженої термічно-зміцненої арматури. Результати експериментального дослідження залізобетонних балок подано у вигляді таблиць та графіків залежності прогинів, відносних деформацій у стиснутій зоні бетону та розтягнутій арматурі від прикладеного статичного навантаження. За результатами експериментального дослідження виконано порівняння отриманих результатів. Подано результати аналізу, отримано комплексну інформацію про поведінку бетону (ремонтного розчину) та арматури в будь-який момент часу навантаження зразків за допомогою методу цифрової кореляції зображення.

У четвертому розділі (33 сторінки) на основі чинних норм розрахунку за деформаційною моделлю ДСТУ Б В.2.6-156:2010 та ДБН В.2.6-98:2009 розраховано теоретичні значення несучої здатності залізобетонних згинаних

елементів з відновленням стиснутої зони бетону сучасними ремонтними розчинами.

Проведене дослідження дозволило простежити закономірності формування напружень і відповідних деформацій у межах перерізу, включаючи фазу граничної роботи конструкції. Встановлено, що після проведення відновлювальних заходів, напружено-деформований стан конструкцій зберігає структурну рівновагу без ознак локальної нестабільності чи критичних відхилень у роботі.

У ході дослідження методом цифрової кореляції зображень уперше зафіксовано зростання межі текучості арматури на 10–20% при повторному навантаженні, що пояснюється ефектом дислокаційного зміцнення та реорганізацією внутрішньої структури сталі. Отримані результати дозволяють уточнити параметри деформаційної моделі роботи арматури при складному циклічному навантаженні та враховувати накопичений ефект зміцнення внаслідок наклепу у розрахунках несучої здатності конструкцій після відновлення.

Загальні висновки (3 сторінки) щодо роботи отримано із результатів експериментально-теоретичних досліджень проведених автором дисертаційної роботи. Результати досліджень апробовані через публікації у фахових виданнях, виступи на конференціях та отримали практичну реалізацію.

Відповідність змісту анотації основним положенням дисертаційної роботи.

Зміст анотації в повній мірі відображає основні положення, що представлені в дисертаційній роботі, відповідає її змісту, містить основні результати проведених досліджень і дає можливість в достатній мірі оцінити наукову новизну та практичну цінність. Стил викладення матеріалу у дисертації та анотації відповідає загальноприйнятим нормам та є достатнім для однозначного сприйняття наведених положень.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій

Представлені в дисертаційній роботі результати повною мірою висвітлені в опублікованих працях у наукових та фахових виданнях і достатньо апробовані на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях.

Публікації за тематикою дисертаційного дослідження

За результатами дисертаційної роботи «Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами» опубліковано 9 наукових праць. Серед них 5 публікацій у наукових фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз, 3 публікації у наукових періодичних виданнях інших держав, які включено до міжнародних наукометричних баз, 1 публікація, яка засвідчує апробацію матеріалів дисертації, та яка додатково відображає наукові результати дисертації.

Дискусійні положення, зауваження та пропозиції.

1. В огляді літературних джерел наявна загально відома інформація, яку не варто було подавати в дисертаційну роботу.
2. Варто було б зробити відновлення стиснутої зони бетоном зі схожими фізико-механічними характеристиками, що й у бетону балок.
3. На нашу думку слід було б порівняти балки між собою за способом відновлення, щоб зрозуміти який з них є найефективнішим.
4. Не зрозуміло від якого рівня деформацій в арматурі Ви відштовхувались коли починалось випробування відновлених залізобетонних балок.
5. Варто було б зробити графіки деформацій за висотою відновлених балок (особливо маючи дані цифрової кореляції зображення) це б значно збагатило дисертаційну роботу.

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність, важливість узагальнень нових наукових результатів теоретичних та експериментальних досліджень і не знижують загальної оцінки роботи.

Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки. Клим Андрій Богданович під час роботи над дисертацією провів власне наукове дослідження, оформлене у вигляді наукової праці, та опублікував основні його

наукові результати. Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що представлена дисертація є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливі науково-технічні прикладні задачі розрахунку несучої здатності та деформативності для пошкоджених залізобетонних балок, переріз яких відновлений сучасними ремонтними матеріалами на базі чинних норм проєктування України. Робота актуальна, має наукову новизну, нові наукові результати і практичне значення. Результати комплексних експериментально-теоретичних досліджень роботи достовірні.

Дотримання принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота Кліма Андрія Богдановича «Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами» є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належне посилання на відповідне джерело.

Висновок

Дисертаційна робота Кліма Андрія Богдановича „Несуча здатність залізобетонних елементів, відновлених композитними матеріалами” є завершеною науковою працею і відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації (зі змінами внесеними від 12.07.2019 р.), Порядку присудження доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022р. №44 зі змінами внесеними від 22.03.2022р).

Рецензент – кандидат технічних наук,
доцент кафедри «Будівельні конструкції

та мостів» Національного університету



Ростислав ВАШКЕВИЧ