

ВІДГУК

офіційного опонента КАРПЮК Ірини Анатоліївни
на дисертаційну роботу АЗІЗОВОЇ Анни Геннадіївни «Міцність на згин
залізобетонних балкових конструктивних елементів, які підсилені шляхом
нарощування перерізу», подану до разової спеціалізованої вченої ради
ДФ 44.052.031 в Національному університеті «Полтавська політехніка імені
Юрія Кондратюка» на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія
(галузь знань 19 – Архітектура та будівництво)

Актуальність обраної теми. Необхідність у підсиленні залізобетонних балкових конструкцій перекриттів у будівлях і спорудах виникає при зниженні їх несучої здатності внаслідок: значного фізичного зносу при довготривалій експлуатації в агресивному середовищі без своєчасного проведення ремонтних робіт; у випадку пошкоджень від механічної чи фізичної дії; при помилках під час їх проєктування та при збільшенні величин проєктних навантажень. Основна мета робіт з підсилення балкових конструктивних елементів – це ліквідація накопиченого в них фізичного зносу шляхом відновлення їх перерізів чи підсилення у випадку підвищення їх несучої спроможності та надійності перекриттів без необхідності проведення повної їх заміни.

У національних нормах проєктування відсутні чіткі положення щодо розрахунку та конструювання підсилення пошкоджених і доведених до граничного чи аварійного стану прогінних залізобетонних конструкцій шляхом нарощування їх у стиснутій і розтягнутій зонах одночасно.

Проєктування такого підсилення стримується відсутністю нормативної методики та чітких рекомендацій в авторських методиках, які б адекватно відображали реальний граничний напружено-деформований стан комбінованих перерізів пошкоджених балкових конструкцій і елементів її підсилення.

Тому необхідність створення на теоретичній основі методології розрахунку міцності на згин залізобетонних балкових конструктивних елементів, які підсилені шляхом нарощування перерізу одночасно в стисненій і розтягувальній зонах, з урахуванням специфіки їх напружено-деформованого стану в момент руйнування зумовила актуальність теми і напрямок досліджень даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи і її результати відповідають науково-технічній політиці держави щодо енергетичної ефективності і ресурсозбереження у будівництві та відновлення будівель і споруд для улаштування в них захисних споруд цивільного захисту. Проведені дослідження виконувалися у межах держбюджетних тем Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»:

- «Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель» (номер державної реєстрації 0121U109497);
- «Ресурсоощадні технології прискореного відновлення пошкоджених будівель із влаштуванням захисних споруд цивільного захисту» (номер державної реєстрації 0125U000895).

Склад і структура дисертаційної роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Робота викладена на 226 сторінках машинописного тексту, у тому числі містить 168 сторінок основного тексту, 16 сторінок списку використаних джерел із 164 найменувань, 10 сторінок додатків і має 12 таблиць та 49 рисунків.

Аналіз змісту дисертаційної роботи.

У *вступі* (11 сторінок) обґрунтовано актуальність теми роботи, представлено мету, задачі та методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, приведені дані про особистий внесок здобувачки, публікації, перелік конференцій, на яких були апробовані результати дисертації, наведена її структура й обсяг.

Перший розділ (45 сторінок) присвячений огляду літературних джерел з проблематики досліджень дисертаційної роботи, а саме основним двом напрямкам:

– методам і способам підсилення балкових залізобетонних конструктивних елементів, яке здійснюється шляхом нарощування їх перерізів, та визначальним факторам впливу на підвищення їх несучої спроможності при згинанні;

– методам і способам підсилення плитних залізобетонних конструктивних елементів, яке здійснюється шляхом нарощування їх перерізів, та визначальним факторам впливу на підвищення їх несучої спроможності при згинанні.

Встановлена необхідність розробки та удосконалення методів розрахунку міцності на згин комбінованих перерізів залізобетонних балкових і плитних конструктивних елементів перекриттів, які підсилені шляхом нарощування перерізу, особливо при нарощуванні їх перерізів одночасно в стисненій і розтягувальній зонах. Тако була поставлена задача щодо проведення експериментальних досліджень на окремих арматурних стержнях-зразках, результати яких дозволили б провести корегування основних залежностей в методиці розрахунку міцності на згин і проєктуванні підсилення залізобетонних балкових конструкцій, яке здійснюється шляхом нарощування поздовжнього армування в їх розтягувальній зоні за допомогою додаткових арматурних стержнів, які з'єднуються з існуючими за допомогою переривистих зварних швів.

Другий розділ (43 сторінки) присвячений теоретичним розробкам методик розрахунку і проєктування підсилення залізобетонних балкових конструктивних елементів, яке здійснюється шляхом нарощування їх перерізів.

В розділі 2 були розроблені:

- метод розрахунку міцності на згин залізобетонних балкових елементів, які підсилені шляхом нарощування площі поздовжнього армування в розтягувальній зоні їх перерізу за допомогою додаткових арматурних стержнів, які закріплюються (з'єднуються) до стержнів існуючого армування завдяки переривистим зварним швам;

- метод розрахунку міцності на згин комбінованих Т-подібних перерізів балкових і плитних елементів залізобетонних перекриттів, які підсилені шляхом улаштування в них додаткового залізобетонного шару набетонування в зоні стиску та додаткового армування в зоні розтягу;

- методика розрахунку міцності на згин комбінованих залізобетонних балкових елементів, які утворюються в результаті їх підсилення шляхом двобічного симетричного нарощування їх перерізів, яка базується на методі розрахункового опору залізобетону з використанням універсальної функціональної залежності $k_z = f(\omega)$ міцносних характеристик залізобетонного конструктивного елементу, що згинається.

За допомогою представлених автором у розділі 2 аналітичних залежностей маємо можливість ефективно розраховувати раціональні перерізи конструктивних компонентів підсилення балкових залізобетонних конструкцій, враховуючи наявне в них армування та визначаючи міцність на згин в комбінованих перерізах підсилених балкових залізобетонних конструктивних елементів, які утворюються в результаті їх підсилення шляхом нарощування в стисненій і розтягувальній зонах або додатковим двошаровим симетричним бічним набетонуванням по всій висоті перерізу існуючої залізобетонної балки, що підсилюється.

У *третьому розділі* (23 сторінки) представлені методика та результати експериментальних досліджень 16-и зразків із попарно зварених внакладку окремих поздовжніх арматурних стержнів різної довжини і конструктивними рішеннями щодо їх з'єднання між собою за допомогою переривчастих зварних швів, які були випробувані на розтяг. Зразки моделювали випадки, які виникають при підсиленні залізобетонних балкових конструктивних елементів шляхом нарощування перерізу в їх розтягненій зоні за допомогою додаткових арматурних стержнів, що з'єднуються з існуючими арматурними стержнями внапуск поблизу місць обривання і в прогоні по їх довжині за допомогою зварних швів, z-подібних відгинів чи накладок визначеної довжини та діаметру. У процесі випробувань були досліджені фактори (локальний термічний контактний електронагрів перерізів при зварюванні; наявність ексцентриситету прикладення поздовжнього зусилля розтягу; виникнення концентрації напруження в перерізах зразків поблизу їх конструктивної зміни), які впливали на напружено-деформований стан, деформативність, характер руйнування і міцність на розтяг арматурних стержнів-зразків. Напружено-деформований стан зразків досліджувався за допомогою тензорезисторів, які були наклеєні ланцюжком з двох сторін перерізів стержнів по їх довжині, деформативність – за допомогою прогиномірів, а

міцність на розтяг в момент руйнування визначалася максимальною несучою здатністю одного із перерізів зразка при його розриванні.

У результаті експериментальних досліджень були отримані величини коефіцієнтів концентрації напруження ($K_{\sigma y}$) та зниження міцності на розтяг (γ_{sy}) в перерізах складених стержнів-зразків, які маємо можливість застосовувати в методиці розрахунку міцності на згин залізобетонних балкових елементів, які підсилені шляхом нарощування площі поздовжнього армування в розтягувальній зоні їх перерізу за допомогою додаткових арматурних стержнів, які закріплюються (з'єднуються) до стержнів існуючого армування завдяки переривистим зварним швам.

Четвертий розділ (60 сторінок) присвячений впровадженню теоретичних розробок і результатів експериментальних досліджень, які наведені автором в розділах 2 і 3 дисертації, в практику проектування шляхом розробки аналітичних методів розрахунку і проектування підсилення балкових і плитних конструктивних елементів найбільш поширених залізобетонних міжповерхових перекриттів, які були застосовані при будівництві нині існуючих багатоповерхових будівель і споруд, а саме: перекриття із збірних залізобетонних багатопустотних плит; монолітного балкового залізобетонного перекриття; перекриття із збірних ребристих плит; окремих балкових залізобетонних елементів. Запровадження в проєктну практику запропонованих методик з підсилення балкових і плитних залізобетонних конструктивних елементів перекриттів (покриттів) шляхом нарощування їх перерізів дозволить ефективно вирішувати конструктивні задачі, пов'язані з їх посиленням під час ремонту, реконструкції чи відновленні будівель та споруд. Так, використання аналітичного методу розрахунку і проектування підсилення залізобетонних балкових і плитних конструктивних елементів перекриттів шляхом нарощування перерізів одночасно в стисненій і розтягувальній зонах дозволяє значно підвищити їх несучу здатність на згин в перерізах на середині їх прогону за рахунок набетонування в стисненій зоні із високоміцного бетону і збільшення величини відстані (“плеча”) між внутрішніми рівнодійними зусиллями в комбінованому їх перерізі, що дає в порівнянні з іншими методами і способами підсилення суттєво мінімізувати витрати матеріалів. Даний метод розрахунку і проектування підсилення вище зазначених балкових конструкцій може набути широкого застосування у сучасних умовах при реконструкції (переобладнанні) приміщень в існуючих будівлях і спорудах під приміщення захисної споруди (укриття), коли необхідно виконати збільшення несучої здатності конструктивних елементів перекриттів шляхом їх підсилення на дію квазістатичного еквівалентного навантаження, нормативна величина якого перевищує їх несучу спроможність у 10...50 разів.

У *загальних висновках* (4 сторінки) наведені основні результати дисертаційної роботи, які були виконані згідно поставлених задач досліджень.

У додатках (10 сторінок) приведені список публікацій здобувачки за темою дисертації з визначенням особистого внеску та довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що *вперше*:

- розроблено методику розрахунку міцності на згин та проєктування оптимальної площі армування залізобетонних балкових елементів, які підсилені шляхом нарощування перерізу одночасно в стисненій і розтягувальній їх зонах;

- експериментально досліджено напружено-деформований стан та міцність на розтяг зварених внакладку окремих поздовжніх арматурних стержнів-зразків складеного перерізу з різними конструктивними рішеннями, які утворюються при підсиленні залізобетонних балкових конструктивних елементів шляхом нарощування перерізу в їх розтягнутій зоні;

удосконалено:

- методики розрахунку міцності на згин і проєктування залізобетонних балкових елементів, які підсилені: шляхом нарощування площі поздовжнього армування в розтягувальній зоні їх перерізу; шляхом нарощування їх перерізів одночасно з двох боків додатковим залізобетонним шаром;

отримали подальший розвиток:

- класифікація варіантів способів підсилення (відновлення) балкових і плитних залізобетонних прогонних конструктивних елементів перекриттів будівель і споруд шляхом нарощування їх перерізу;

- практичні методики розрахунку міцності на згин та проєктування конструктивних елементів підсилення залізобетонних конструкцій (елементів) перекриття будівель і споруд, а саме: підсилення залізобетонних балок перекриття шляхом нарощування площі поздовжнього армування в розтягувальній зоні її перерізу; підсилення збірних залізобетонних ребристих плит перекриття шляхом нарощування перерізу додатковими залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки; підсилення залізобетонних балкових елементів монолітного перекриття шляхом збільшення їх поперечного перерізу в стиснутій та розтягнутій зонах; підсилення збірної залізобетонної багатопустотної плити перекриття шляхом збільшення її поперечних перерізів в стиснутій та розтягнутій зонах.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

- розробленні методики з визначення міцності на згин залізобетонних балкових конструктивних елементів, які підсилені шляхом нарощування перерізу та наданні в роботі практичних пропозицій щодо її застосування, які будуть використані при підготовці нової редакції національного стандарту України ДСТУ В.2.6-156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проєктування», в розділі, присвяченому розрахунку підсилених залізобетонних конструкцій за граничним станом I-ої групи (за несучою здатністю);

– ефективності використання у практиці проектування методів розрахунку конструктивних елементів з підсилення балкових залізобетонних конструктивних елементів перекриттів в збірному, збірно-монолітному чи монолітному (з перервою у бетонуванні) виконанні при реконструкції, відновленні чи капітальному ремонті будівель і споруд, а також при переобладнанні їх приміщень під захисні споруди цивільного захисту визначеного класу із необхідністю забезпечення їх несучої здатності під відповідні величини квазістатичного еквівалентного навантаження згідно вимог діючих норм.

Впровадження. Отримані результати досліджень були впроваджені протягом 2025-2026 років у процесі проектування підсилення балкових залізобетонних конструкцій покриттів (перекриттів) в робочих проєктах з відновлення пошкоджених споруд фізичного захисту автотрансформаторів на об'єктах НЕК «УКРЕНЕРГО» та норійної вежі, які зазнали пошкоджень внаслідок ударів БпЛА. Зокрема, використання результатів досліджень здобувачки дозволило обґрунтувати раціональні параметри армування залізобетонних балкових конструкцій, що були підсилені і відновлені. Таким чином, достовірність експериментальних та аналітичних досліджень здобувачки була підтверджена в реальних умовах будівництва.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій засвідчуються: теоретичними дослідженнями на основі використання фундаментальних принципів і базових гіпотез деформаційної теорії (методу) розрахунку конструкцій; розробленням розрахункових схем граничного напружено-деформованого стану в момент руйнування та аналітичних залежностей для балкових і плитних залізобетонних конструктивних елементів перекриттів, що підсилені шляхом нарощування перерізу і працюють на згин; виконанням експериментальних досліджень складених внакладку арматурних стержнів, що з'єднані між собою по довжині за допомогою переривчастих зварних швів; застосуванням запропонованих методів розрахунку в практику проектування і будівництва.

Повнота викладення дисертаційної роботи в публікаціях.

Результати дисертації викладено в 22-х наукових працях: 5-и статтях у виданнях іноземних держав, які проіндексовані у міжнародній базі даних Scopus; 4-х статтях у фахових виданнях України; 13-и публікаціях в матеріалах і тезах конференцій. Наукові праці Азізової Анни Геннадіївни відповідають вимогам п. 8 «ПОРЯДКУ присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Матеріали дисертаційної роботи були апробовані на 13-и конференціях.

Особистий внесок здобувачки полягає у: формулюванні наукової проблеми; вдосконаленні класифікації варіантів способів підсилення

(відновлення) балкових і плитних залізобетонних прогонних конструктивних елементів перекриттів будівель і споруд шляхом нарощування їх перерізу; розробці і обґрунтуванні методичних положень з розрахунку міцності на згин і проєктування підсилення збірних залізобетонних конструктивних елементів монолітного, збірного чи збірно-монолітного перекриттів шляхом нарощування їх перерізу додатковим залізобетонним шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді додаткових елементів шпренгельної чи горизонтальної затяжки; проведенні експериментальних досліджень зразків із зварених внакладку окремих поздовжніх арматурних стержнів складеного перерізу з різними конструктивними рішеннями, які утворюються при підсиленні залізобетонних балкових елементів шляхом нарощування перерізу в розтягнутій зоні, які дозволили визначити вплив різних факторів на їх міцність на розтяг, деформативність та характер розподілу внутрішніх зусиль по їх довжині при дії зовнішнього зусилля, яке моделює стадію позацентрового розтягу робочої арматури в нижній зоні перерізів балкових елементів при згині чи при застосуванні в них попереднього напруження; наданні практичних рекомендацій щодо застосування теоретичних розробок дисертаційної роботи у вигляді методів розрахунку і проєктування конструктивних елементів з підсилення балкових і плитних елементів залізобетонних перекриттів, яке здійснюється шляхом нарощування їх перерізів.

Викладені у дисертаційній роботі наукові ідеї, основні положення, теоретичні розробки та практичні результати отримані автором самостійно. Особистий вклад здобувачки у проведених спільно зі співавторами дослідженнях деталізовано у списку публікацій за темою дисертації.

В роботі слід відмітити: якісно проведені експериментальні дослідження, які дозволили визначити поправочні коефіцієнти впливу конструктивних і теплових факторів на міцність при розтягуванні арматурних стержнів, якими здійснюється додаткове армування (підсилення) залізобетонних балок в розтягувальній зоні за допомогою зварювання; розробку методики ефективного застосування додаткового армування в розтягувальній зоні комбінованих перерізів залізобетонних балкових конструктивних елементів, що підсилюються, яка дозволяє чітко розмежувати ефективність застосування способів їх підсилення одночасно в стисненій і розтягувальній зонах чи тільки в стисненій зоні залежно від наявного армування в розтягувальній зоні конструкції, що підсилюється, товщини і класу бетону залізобетонного шару набетонування на рівні верхньої її площини і величини згинального моменту, що діє в розрахунковому перерізі; широку апробацію матеріалів дисертації та достатню кількість опублікованих праць, в яких повною мірою були висвітлені положення усіх розділів дисертаційної роботи.

Зміст тексту анотації та основних положень дисертації є ідентичними, в тексті анотації повною мірою висвітлені основні положення дисертаційної роботи згідно вимог п.ІІІ.2, п.ІІІ.3 і додатку 2 Вимог до оформлення дисертації,

які затверджені наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017р.

Зауваження та дискусійні питання щодо змісту дисертації.

1. Метою роботи визначено удосконалення теоретичних методів розрахунку та розробку типових рішень, однак не наведено кількісних критеріїв, за якими оцінюється ефективність запропонованих методик. Мова йде про підвищення точності, економічності, зменшення матеріаломісткості чи спрощення розрахунків?

2. У розділі 1 роботи проведено досить ґрунтовий огляд методів підсилення залізобетонних балок і плит шляхом нарощування перерізу, однак аналіз переважно має описовий характер. Недостатньо виконано критичне порівняння існуючих методик між собою. Зокрема, відсутня систематизація їх переваг, недоліків, області застосування, точності розрахунку та конструктивних обмежень. Наявність узагальнюючої порівняльної таблиці значно підвищила б науковий рівень огляду.

3. У розділі 2 роботи запропоновано нові методики розрахунку міцності підсилених залізобетонних елементів, однак недостатньо чітко визначено межі їх застосування. Не зазначено, чи поширюються вони на балки з високоміцного бетону, попередньо напружені конструкції, елементи з фібробетону, високоміцної арматури або конструкції зі значними пластичними деформаціями. Відсутність області застосування може призвести до некоректного використання методики в проєктній практиці.

4. Експериментальні дослідження, результати яких приведені в розділі 3 роботи, виконані на окремих зварених арматурних стержнях, тоді як практичне застосування методики стосується роботи залізобетонних балок. При цьому не наведено достатнього обґрунтування того, що отримані закономірності розподілу напружень можуть бути безпосередньо перенесені на реальний напружено-деформований стан залізобетонного елемента, де суттєвий вплив має бетон, тріщиноутворення та зчеплення арматури з бетоном.

5. У роботі досліджено вплив конструктивних параметрів стиків, однак практично не розглянуто вплив циклічного або повторного навантаження, яке характерне для конструкцій, що експлуатуються тривалий час. Невідомо, чи залишаються запропоновані коефіцієнти справедливими після багаторазового навантаження або втомного руйнування зварних стиків стержнів-зразків?

6. У розділі 4 наведено приклади розрахунку підсилених конструкцій за запропонованою методикою, однак відсутнє порівняння отриманих результатів із результатами розрахунку за чинними нормативними документами (ДБН, ДСТУ, Eurocode 2). Через це складно кількісно оцінити переваги запропонованого підходу щодо точності, економічності та матеріаломісткості.

7. Практичне застосування методики показано на окремих прикладах в розділі 4, однак не виконано аналіз чутливості результатів до зміни основних параметрів: класу бетону, класу арматури, ступеня попереднього навантаження,

товщини нарощування та відсотка додаткового армування. Такий аналіз дозволив би визначити області найбільшої ефективності запропонованого підходу.

8. У загальних висновках не зазначені перспективи подальших наукових досліджень, які безпосередньо можуть бути пов'язані з дослідженнями дисертаційної роботи. Враховуючи отримані результати, доцільно було б окремо вказати напрями розвитку подальших досліджень, пов'язаних з роботою, а саме дослідження: міцності похилих перерізів залізобетонних елементів; довговічності контактного шва у зварних з'єднаннях; експлуатаційної придатності та роботи конструкцій при циклічних навантаженнях.

Загальна оцінка дисертаційної роботи та висновок щодо відповідності вимогам Міністерства освіти і науки України.

Дисертація в цілому є закінченою науково-дослідною роботою, яка має важливе теоретичне та практичне значення. У ній отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності дозволили вирішити актуальну науково-практичну проблему з ефективного проєктування елементів підсилення балкових залізобетонних конструктивних елементів перекриттів, які здійснюються шляхом нарощування їх перерізів одночасно в стисненій і розтягувальній зонах. Наведені зауваження не впливають на загальну схвальну оцінку роботи та можуть бути враховані при подальших дослідженнях автора.

Дисертація виконана відповідно до «Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами), які затверджені наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року, і «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 року. Автор дисертаційної роботи Азізова Анна Геннадіївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент,
доцент кафедри основ і фундаментів
Одеської державної академії
будівництва та архітектури
Міністерства освіти і науки України,
доктор технічних наук, доцент Ірина КАРПЮК