

Відгук офіційного опонента
на дисертаційну роботу Хміля Романа Євгеновича на тему «Напружено-деформований стан та залишковий ресурс залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми дисертації. Дослідження ефективності використання різних методів підсилення залізобетонних конструкцій є на сьогодні актуальним завданням. Беручи до уваги результати великої кількості досліджень напруженого стану залізобетонних конструкцій, підсилених різними методами за дії навантаження, можна зробити такий висновок: найефективнішими, з погляду складності влаштування, вартості та впливу на напружений стан конструкції, є методи нарощування перерізу розтягнутого армування, бетону та одночасно армування і бетону.

Варто зазначити, що ймовірнісні методи розрахунку будівельних конструкцій привертають все більшу увагу науковців, оскільки дозволяють проводити кількісну оцінку надійності у вигляді показника ймовірності безвідмовної роботи та призначати гарантований рівень їхньої надійності на стадії проектування як нових, так і підсилених конструкцій.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження, і має наукове та прикладне значення.

Робота виконувалася у Національному університеті «Львівська політехніка» в рамках теми «Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев'яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення з врахуванням різних видів армування, бетонування, способів та інтенсивності навантаження, дії агресивного середовища, підвищених температур» (державна реєстрація №0117U007366), а також окремі її дослідження виконували в межах держбюджетних науково-дослідних робіт за темами «Розроблення методів розрахунку залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження з експериментальним обґрунтуванням» (державна реєстрація №0113U001359) та «Розроблення методик визначення несучої здатності та деформативності залізобетонних конструкцій зміцнених новітніми матеріалами за дії навантаження» (державна реєстрація №0115U000436).

Оцінка змісту дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел зі 408 найменувань та 4 додатків. Робота викладена на 465 сторінках машинописного тексту, у тому числі містить 361 сторінку основного тексту, 43 сторінки списку використаних джерел, 53 таблиці, 96 рисунків та 77 сторінок додатків.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше:

–отримано нові дані щодо напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються способом

нарощуванням перетину арматури, одночасно арматури і бетону під навантаженням в дійсних умовах експлуатації;

–експериментально-теоретичним шляхом визначено значення коефіцієнтів умов роботи додаткової арматури $\gamma_s^{ad,exp}$ і бетону $\gamma_c^{ad,exp}$ залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження, які значно відрізняються від величин, рекомендованих нормами проектування ДСТУ Б В.3.1-2:2016;

Набули подальшого розвитку та вдосконалені:

–методики розрахунку залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних елементів, підсилених нарощуванням перетину арматури, одночасно арматури і бетону під навантаженням із використанням двох альтернативних моделей (силової та деформаційної моделі розрахунку), при цьому передбачено врахування діючого на конструкцію навантаження в момент підсилення;

–алгоритм побудови геометричної, фізичної кінцево-елементної моделі та моделі прикладання навантаження до залізобетонних конструкцій, підсилених під навантаженням у прикладних програмних комплексах, що використовують МСЕ;

–принципова методика визначення індексів надійності (дальності відмови) β та ймовірності безвідмовної роботи $P(\beta)$ для згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються за дії навантаження. При цьому рівень діючого на час підсилення навантаження розглядається як додаткова, до загально прийнятих у теорії оцінювання надійності залізобетону, випадкова величина;

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання у проектуванні залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених способом нарощуванням перетину арматури, одночасно арматури і бетону за дії навантаження, і при цьому оцінювання дійсного напружено-деформованого стану підсилених конструкцій, що дозволить підвищити ефективність використання матеріалів підсилення під час розроблення проектного рішення.

Розроблені принципові методики оцінки надійності під час проектування та реконструкції залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних елементів, підсилених різними методами за дії навантаження дають можливість з достатньо високою точністю оцінювати ймовірність їхньої безвідмовної роботи. За результатами такої оцінки стає можливим проектування підсилення залізобетонної конструкції з заданим наперед рівнем надійності, прогнозування їхнього залишкового ресурсу та забезпечення при цьому більшої економічності та ефективності прийнятих конструктивних рішень з підсилення.

Результати виконаних експериментально-теоретичних досліджень за участю автора застосовані на будівлях та спорудах ТОВ «Карпатнафтохім» (м. Калуш), ТЗОВ «Марконі» (м. Львів) під час виконання робіт із встановлення дійсного технічного стану, оцінки необхідності їхнього підсилення та під час розроблення конструктивних рішень підсилення залізобетонних конструкцій значної кількості об'єктів (2006–2020 рр). Також результати роботи застосовані в ТОВ «Інститут проектування «Комфортбуд» та проектно-інжиніринговій компанії ТОВ «Сіменерго» під час розробки проектів реконструкції будівель громадського та виробничого призначення. Ефективність впровадження результатів досліджень підтверджена довідками й актами про їх використання.

Окремі матеріали дисертаційних досліджень використовуються у навчальному процесі в Національному університеті «Львівська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове та цивільне будівництво».

Достовірність та обґрунтованість результатів забезпечується використанням стандартних методів досліджень будівельних конструкцій, задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів, верифікацією методом скінченних елементів запропонованих підходів до розрахунку, а також застосуванням методів теорії надійності, теорії ймовірностей і математичної статистики.

Особистий внесок автора. Основні результати дисертаційної роботи одержано дисертантом самостійно. Участь автора у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих робіт.

Повнота висвітлення результатів у публікаціях і авторефераті. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень опубліковані у 51 друкованій праці, з них – 24 статті у наукових фахових виданнях України, 15 статей у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз (зокрема, 7 праць у НМБД Scopus), 1 патент на корисну модель, 11 публікацій апробаційного характеру. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертанта доцільно розглянути по кожному розділу дисертації окремо.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також наведено дані про їх впровадження та рівень апробації.

У **першому розділі** на 60 сторінках, проведено огляд технічної літератури з проблематики досліджень, а саме: представлено існуючі методи підсилення залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, проведено аналіз досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій, що підсилюються, методів оцінювання та прогнозування параметрів НДС залізобетонних конструкцій, підсилених у дійсних умовах експлуатації. Крім того, виконано аналіз ймовірнісних методів розрахунку непідсилених та підсилених залізобетонних конструкцій, розглянуто стан питання розрахунку показників надійності елементів після підсилення.

На основі здійсненого аналізу робіт встановлено, що сьогодні виконано значну кількість експериментальних досліджень підсилених згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, проте серед них відносно невелика кількість експериментальних досліджень стосується конструкцій, підсилених за дії навантаження різних рівнів, що, безсумнівно, є недостатнім для всебічного розуміння ефективності способів підсилення в умовах експлуатації залізобетонних конструкцій. Також можна стверджувати, що найбільш економічним та ефективним методом, враховуючи конструктивно-технологічні вимоги, є метод підсилення залізобетонних конструкцій нарощуванням їх перетину бетоном, арматурою або одночасно бетоном і арматурою.

Із введенням у дію нормативних документів з проєктування залізобетонних

конструкцій на базі деформаційної моделі розрахунку питання розробки та апробації деформаційної методики до розрахунку підсилених залізобетонних конструкцій, особливо підсилених під навантаженням, набуває особливої актуальності.. На основі проведеного аналізу літературних джерел було визначено мету та сформовано основні завдання досліджень.

У *другому розділі* на 45 сторінках наведено комплексну програму й методики проведення експериментальних досліджень згинаних та стиснуто-згинаних залізобетонних конструкцій, підсилених найпоширенішими способами, а саме нарощуванням армування та одночасно армування і бетону (обоймою) за одночасної дії навантаження.

Програмою передбачено експериментальні дослідження 32 великорозмірних моделей згинаних елементів з розмірами поперечного перерізу до підсилення 100×200 мм та довжиною 2100 мм і 28 великорозмірних моделей стиснуто-згинаних елементів із розмірами поперечного перерізу до підсилення 140×180 мм та довжиною 2200 мм. Загалом експериментальні випробування проведені на 60 великорозмірних моделях залізобетонних елементів, з них 44 моделі підсилені за дії навантаження, 8 референсних моделей підсилені без дії навантаження та 8 непідсилені контрольних моделей. Складовою частиною програми експериментальних досліджень було дослідження поєднаних зварюванням арматурних стержнів (50 зразків), виконаних під навантаженням та дослідження сумісної роботи бетону існуючого і додаткового перерізів підсилених залізобетонних конструкцій.

Розроблені методики експериментальних досліджень підсилених залізобетонних конструкцій дозволили отримати експериментальні дані про дійсний напружено-деформований стан елементів основного і додаткового перерізів, дослідити вплив рівня попереднього навантаження на параметри НДС підсиленої конструкції.

У *третьому розділі* на 80 сторінках наведені результати експериментальних досліджень залізобетонних конструкцій. У зв'язку з обмеженням об'єму в авторефераті наведено результати випробувань залізобетонних балок і колон, підсилених шляхом влаштування залізобетонної обойми, як найбільш складного способу для виконання, і як загальний випадок підсилення залізобетонних конструкцій способами часткового нарощування поперечного перерізу.

У *четвертому розділі* на 55 сторінках розроблені методики визначення залишкової несучої здатності підсилених під навантаженням залізобетонних конструкцій за деформаційною та силовою моделлю розрахунку, зважаючи на наявні переваги і недоліки в обох підходах до оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій. Перевагами силової моделі розрахунку є зрозумілі нескладні рівняння рівноваги сил у розрахунковому перерізі конструкції, а також можливість їх застосування без обчислювальної комп'ютерної техніки. Водночас, недоліком є значна кількість емпіричних залежностей та емпіричних коефіцієнтів умов роботи матеріалів, конструкції, які необхідно враховувати під час розрахунків. Важливою відмінністю розрахунку конструкцій за силовою моделлю згідно з ДСТУ Б В.3.1-2:2016 від деформаційної моделі розрахунку згідно з ДСТУ Б В.2.6-156:2010 є те, що вона дозволяє

оцінювати НДС конструкції лише в граничному стані, коли напруження у стиснутому бетоні й розтягнутій арматурі досягають їхніх розрахункових опорів.

У *п'ятому розділі* на 18 сторінках описано моделювання роботи підсилених залізобетонних балок у прикладних програмних комплексах, які розроблені з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Для цього запропоновано алгоритм побудови геометричної, фізичної моделі та моделі прикладання навантаження до підсилених залізобетонних конструкцій, які б відображали дійсні умови їх експлуатації й підсилення.

У *шостому розділі* на 45 сторінках наведено результати розробки та апробації пропонованої методики оцінки надійності – індексів надійності (дальності відмови) β та коефіцієнтів імовірності безвідмовної роботи $P(\beta)$ для згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються способом нарощуванням перетину арматури, а також виконано аналіз отриманих значень якісних і кількісних показників. При цьому рівень діючого на час підсилення навантаження розглядається як додаткова, до загальноприйнятих у теорії оцінювання надійності залізобетону, випадкова величина.

Загальні висновки по роботі в цілому відображають наукову значущість і практичну реалізацію.

Основним результатом дисертаційної роботи є вирішення важливої науково-технічної проблеми встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених за дії навантаження і створення розрахункових методик для проектування та оцінювання надійності та залишкового ресурсу таких конструкцій.

Зауваження:

1. Дисертація має експериментально-теоретичний характер, тому варто було б спробувати застосувати математичне планування експерименту.
2. Цікаво було б привести більш детальні результати вимірів напружень в арматурі при приварюванні арматури підсилення (див. рис. 2.4).
3. Варто було б детальніше проаналізувати вплив тривалих навантажень на зразки, особливо при високих рівнях навантаження.
4. До рис. 2.12 – цікаво було б проаналізувати деформативність траверс 7, 8, 16, 17 та їх вплив на режим навантаження.
5. Варто було б порівняти роботу бетону підсилення при підготовці «старого» бетону виїмками та без підготовки (рис 2.16-2.19).
6. В підрозділі 2.4.3 зазначено, що теоретичний прогин зразка від власної ваги становить 0,3 мм (на прольоті 2,2 м). Чи вдалося цей прогин підтвердити експериментально?
7. Як враховувався в розрахунку конструкцій місцевий згинальний момент в місці приварювання, який утворився за рахунок ексцентриситету між основною арматурою та арматурою підсилення (стор.160).
8. В таблицях 3.5, 4.4 та 4.5 та багатьох інших при порівнянні теоретичних та експериментальних моментів варто було б повизначати статистичні характеристики порівняння (відхилення середнє, коефіцієнт варіації та ін.).
9. В п'ятому розділі цікаво було б детальніше пояснити як саме враховувалось попереднє навантаження в розрахункових моделях.

10. В шостому розділі варто було б привести статистичні характеристики всіх стохастичних змінних (рис. 6.3), хоча б коефіцієнти варіації.

11. Стосовно таблиці 6.7 імовірності відмови – варто було б детальніше пояснити, як враховувався випадковий рівень навантаження, який використовується для визначення нормативних значень імовірності відмови.

Наведені зауваження та побажання не знижують як теоретичного так і практичного значення дисертаційної роботи та можуть бути враховані при проведенні подальших досліджень.

Висновок щодо відповідності дисертації вимогам МОН України

Дисертація Р. Є. Хміля є цілісною, завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-технічну проблему встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених за дії навантаження і створення розрахункових методик для проєктування та оцінювання надійності та залишкового ресурсу таких конструкцій. Дослідження проведено на високому науковому рівні, дисертацію та автореферат оформлено згідно з існуючими вимогами «Порядку присудження наукових ступенів».

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що за актуальністю і новизною, обсягом проведених досліджень та їх науковим рівнем, теоретичною і прикладною значущістю отриманих результатів, повнотою їх опублікування у фахових виданнях дисертація «Напружено-деформований стан та залишковий ресурс залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження» відповідає всім вимогам до докторських дисертацій, а її автор, Хміль Роман Євгенович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, лауреат Державної премії України,
завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії
Національного університету «Полтавська
політехніка імені Юрія Кондратюка»

Олександр СЕМКО

Проректор з наукової та міжнародної роботи
Національного університету «Полтавська
політехніка імені Юрія Кондратюка»,
к.е.н.,



Світлана СІВІЦЬКА