

РЕЦЕНЗІЯ ОФІЦІЙНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на дисертаційну роботу **Наджафова Ельшада Фаїг огли**
«Бетонні опорні конструкції з неметалевим армуванням
для ЛЕП і контактних мереж»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії,
спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Актуальність теми дисертації

Проблематика забезпечення надійності, довговічності та ресурсу бетонних опор контактної мережі залізниць є винятково актуальною в умовах зростаючих вимог до інфраструктури транспортних систем з урахуванням багаторічної експлуатації існуючих конструкцій. У дисертації обґрунтовано доцільність дослідження як деградаційних процесів у залізобетонних опорах, так і альтернативних рішень – зокрема впровадження композитної арматури як корозійностійкого армуючого елемента.

Значну увагу приділено вивченню кінетики нейтралізації захисного шару бетону та впливу карбонізації на експлуатаційні характеристики опор. З огляду на актуальні виклики, пов'язані з електрокорозією в умовах постійного струму, а також обмеження ресурсів на заміну інфраструктурних елементів, запропонована тема є своєчасною, суспільно значущою та має високий прикладний потенціал.

Актуальність теми підтверджується її зв'язком з планами науково-дослідних робіт Українського державного університету залізничного транспорту. Зокрема, дисертаційна робота виконувалася за участю автора дисертації у складі держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України та грантової теми Університету Західної Шотландії і УкрДУЗТ, що мають державну реєстрацію.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

У роботі застосовано системний підхід до дослідження проблеми, який базується на комплексному натурному аналізі стану конструкцій, розробці методик та проведенні експериментальних досліджень і чисельному моделюванні. Усі висновки мають належний рівень аргументованості й випливають із представлених результатів.

У роботі чітко простежується логіка: від аналізу конструктивних недоліків традиційних опор – до розробки альтернативних рішень із застосуванням неметалевої арматури. Для оцінки можливості протікання реакцій карбонізації в рідкій або газоподібній фазі застосовано термодинамічні розрахунки з оцінкою можливості протікання величинами їх вільної енергії Гіббса та константи рівноваги; як основний параметр кінетики просування фронту карбонізації запропоновано ефективний коефіцієнт дифузії CO_2 в бетоні та методику його прискореного визначення; розроблено методику прогнозування залишкового

ресурсу залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу, що зазнають агресивного впливу.

Побудована скінчено-елементна модель конічної кільцевого перерізу конструкції із бетону, армованого попередньо-напруженою композитною арматурою, виконані експериментальні дослідження із визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості армованих конструкцій, зчеплення арматури, зокрема композитної, з бетоном дозволяють зробити ґрунтовні висновки щодо ефективності розроблених конструкцій.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність наукових результатів здобувача забезпечена:

- натурними дослідженнями опор, які експлуатувались понад 50 років;
- розрахунками з урахуванням фундаментальних положень хімічної термодинаміки;
- використанням ліцензованого ПЗ ЛІРА-САПР;
- статистичною обробкою та порівнянням результатів моделювання з експериментальними даними.

Таким чином, викладені у роботі висновки мають належну верифікацію, що підтверджує їх наукову обґрунтованість.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше встановлено, що нейтралізація $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вуглекислим газом відбувається через розчинення CO_2 , у поровому електроліті, кінетика просування фронту карбонізації визначається розчиненням і дифузією молекул CO_2 крізь нього, реакційна здатність щільного центрифугованого бетону визначається об'ємом доступних для води пор a , отже, водопоглинанням бетону, величини ефективного коефіцієнту дифузії CO_2 в бетоні D' з часом зменшуються за рахунок кольтатації порового простору кальцитом.

Набули подальшого розвитку уявлення про вплив чинників на довговічність залізобетонних конструкцій, зокрема, встановлено, що для залізобетонних центрифугованих опор контактної мережі найбільш впливовим чинником є товщина захисного шару.

Набули подальшого розвитку уявлення про напружено-деформований стан конструкцій із бетону, армованих композитною арматурою, зокрема, вперше отримано скінчено-елементну модель конічної кільцевого перерізу конструкції із бетону, армованого попередньо-напруженою композитною арматурою, та закономірності розподілу в ній деформацій і напружень від її згину. Встановлено, що за однакових із залізобетонною конструкцією перерізом арматури та натягом арматурного пакету конструкція з композитною арматурою має меншу несучу здатність за другою групою граничних станів.

Практичне значення результатів дослідження

Результати дослідження впроваджено:

- у практику поточного утримання та проектування контактної мережі на залізницях Азербайджану;

- у проект державних будівельних норм України;
- у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту.

Розроблені методики дозволяють здійснювати прогноз залишкового ресурсу опор контактної мережі з урахуванням впливу агресивного середовища, що має безпосередній вплив на безпеку руху, оптимізацію витрат на заміну конструкцій і ремонтні роботи.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях

Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи повною мірою відображені у 11 роботах: 4 статті у фахових виданнях України категорії Б, 1 стаття у виданні, що індексується наукометричною базою даних Scopus, 1 додаткова стаття у фаховому виданні України категорії Б, 2 описи до заявок на видачу патентів на корисну модель та винахід і 3 апробаційні публікації за матеріалами міжнародних науково-технічних конференцій.

Результати дисертаційного дослідження апробовані на міжнародних конференціях у 2022–2024 рр.:

- 10 Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (TransBud, Харків) 2024;

- Міжнародній науково-технічній конференції «Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (Одеса), 2024;

- Міжнародній науково-технічній конференції «Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі» (Харків), 2022.

Особистий вклад автора у спільних наукових публікаціях відображає винесені на захист результати досліджень. Зміст наведених публікацій відповідає темі дисертації і відображає основні положення і наукові результати отримані в ній.

Оцінка змісту та оформлення дисертації, її завершеність

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 230 сторінок, у т. ч. основний текст займає 120 сторінок. Робота містить 85 рисунків, 34 таблиці та 6 додатків. Список використаних джерел налічує 98 найменувань.

Дисертаційна робота має чітку структуру, викладена послідовно, містить обґрунтування актуальності досліджень, формулювання наукової гіпотези, мети і завдань досліджень, огляд існуючих теоретичних уявлень і їхню практичну реалізацію, вибір методів досліджень і матеріалів і самі теоретичні й експериментальні дослідження.

Робота оформлена грамотно, з дотриманням мовних і стилістичних норм.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, доведено актуальність обраної теми та її зв'язок з науковими програмами та планами, сформульовано

мету, об'єкт і предмет дослідження, наведено завдання досліджень, викладено положення наукової новизни, обґрунтовано достовірність і практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію.

У першому розділі виконано аналіз конструкції, технології виробництва та умов експлуатації залізобетонних конічних центрифугованих опор контактної мережі залізниць. Встановлено, що вони характеризуються високими щільністю та міцністю бетону, а, отже, повільним просуванням фронту карбонізації. Проте через особливості конструкції і технології значна кількість опор мають значні коливання товщини захисного шару, а, отже, недостатню довговічність через втрату захисних властивостей бетону до арматури, її корозію та електрокорозію. Зазначено важливість розробки методики прогнозування залишкового ресурсу експлуатованих залізобетонних опор контактної мережі, що зазнають корозійних впливів. Запропонована робоча гіпотеза: композитна арматура на відміну від сталевий не зазнає електрокорозії та атмосферної корозії, а в бетоні захищена від інсоляції та старіння, тому заміна в опорних конструкціях контактної мережі та ЛЕП сталевий дрітної арматури композитною попередить пошкодження опор від електрокорозії та корозії арматури та забезпечить збільшення їх ресурсу та довговічності. Наведено запропоновані автором завдання досліджень, які на думку рецензента сформульовані коректно та дали можливість досягти мети та довести робочу гіпотезу.

У другому розділі наведено матеріали і методи досліджень. Для оцінки можливості протікання реакцій карбонізації в рідкій або газоподібній фазі запропоновано застосувати термодинамічні розрахунки з оцінкою можливості протікання величинами їх вільної енергії Гіббса та константи рівноваги. Як основний параметр кінетики просування фронту карбонізації запропоновано ефективний коефіцієнт дифузії CO_2 в бетоні D' та методику його прискореного визначення. Розроблено методику прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу, що зазнають агресивного впливу. Розроблено методику порівняння несучої здатності опор контактної мережі залізниць із бетону, армованого композитною та сталевий арматурою, шляхом розрахункового експерименту з аналізом напружено-деформованого стану опор із застосуванням методу скінчених елементів і програмного комплексу ЛІРА-САПР. Для верифікації результатів розрахунків міцності, жорсткості та тріщиностійкості опор з композитною арматурою розроблено методику експериментальних досліджень на моделях у складі розрахункового та натурного експериментів. Розроблено методику порівняльного дослідження зчеплення бетону з композитною і сталевий дрітної арматурою.

У третьому розділі викладено результати теоретичних досліджень. Наведено результати термодинамічного аналізу можливих реакцій взаємодії вуглекислого газу, води, гідроксиду кальцію з утворенням кальциту. Встановлено, що нейтралізація $Ca(OH)_2$ вуглекислим газом відбувається без утворення іонів CO_3^{2-} через розчинення молекул CO_2 , тому кінетика просування фронту карбонізації визначається дифузійною цих молекул через поровий електроліт або повітря порового простору бетону. В результаті теоретичного аналізу процесу карбонізації та кінетики просування її фронту автором

запропоновані рівняння, що ґрунтуються на законі Фіка. Показано, що для карбонізації щільного центрифугованого бетону реакційна здатність бетону визначається об'ємом доступних для води пор a , отже, водопоглинанням бетону, запропоновано нове рівняння для визначення реакційної здатності.

Презентовано вперше отриману скінчено-елементну модель конічної кільцевого перерізу конструкції із бетону, армованого попередньо-напруженою композитною арматурою, та закономірності розподілу в ній деформацій і напружень під час згину. Наведено результати аналізу напружено-деформованого стану скінчено-елементних моделей. Встановлено, що за умови однакових із залізобетонним стояком перерізу арматури та натягу арматурного пакету стояк з композитною арматурою не забезпечує потрібну несучу здатність стояка, досягнення якої є можливим за рахунок збільшення перерізу арматури та натягу її пакету.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних і натурних досліджень карбонізації бетону опор контактної мережі. Встановлено, що ефективний коефіцієнт дифузії CO_2 в бетоні за прискореним методом становить $(0,46-0,61) \times 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, а за натурними вимірюваннями після 50 років експлуатації – $(0,29-0,35) \times 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, що свідчить про зменшення проникності бетону через кольматацію пор. Запропоновано використовувати поправочний коефіцієнт 0,6 для довгострокового прогнозу довговічності.

Найбільший вплив на тривалість карбонізації (87 %) має товщина захисного шару. Мінімальна товщина для забезпечення терміну служби 50 і 100 років складає 5,3 мм та 7,4 мм відповідно.

Порівняльне дослідження фізико-механічних властивостей арматури показало, що модуль пружності композитної арматури (14981 МПа) у 5,4 рази менший за сталеву дротяну (81301 МПа), що суттєво впливає на напружено-деформований стан конструкцій. В результаті розрахункового та натурального експериментів встановлено, що під час навантаження моделі з різними типами арматури зазнають подібного характеру руйнування: спочатку утворюються вертикальні та похилі тріщини, далі – пластичний шарнір і повне руйнування. Визначено, що найбільший вплив на тріщиностійкість і міцність має зусилля попереднього натягу арматури, тип арматури – менш значущий фактор. Моделі з композитною арматурою мають меншу жорсткість і тріщиностійкість.

Розрахункові моменти утворення тріщин на 30–58 % нижчі за експериментальні, а моменти руйнування відрізняються не більше ніж на 11 %. Запропоновано поправки до цих значень. Зчеплення з бетоном у композитної арматури становить 0,69 від сталевий (6,33 проти 9,23 МПа), тому може бути потрібним її анкерування для запобігання прослизанню.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано нові наукові результати.

П'ятий розділ присвячено впровадженню результатів досліджень. Розроблену методику прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу випробувано на трубі коксохімічного виробництва. Встановлено, що агресивне середовище діє зсередини, з інтенсивністю корозії 1,2 – 4,8 мм/рік. Визначено критичну глибину руйнування.

бетону, що загрожує втратою несучої здатності, та рекомендовано ремонтні заходи. Методику також впроваджено на залізниці Азербайджану для оцінки стану залізобетонних опор контактної мережі й планування їх своєчасної заміни.

Розроблено нові конструкції із бетону з композитною арматурою: шпала та телескопічна металева опора на буронабивному фундаменті, яку включено до проєкту державних будівельних норм України.

Впровадження забезпечує зростання довговічності та надійності опор, підвищення безпеки руху та соціально-економічний ефект. Результати досліджень застосовано в освітньому процесі Українського державного університету залізничного транспорту.

У загальних висновках підсумовано виконання завдань досліджень і констатовано досягнення мети, а у додатках наведені додаткові матеріали досліджень.

Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Дисертаційна робота не містить ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Всі використані ідеї, наукові результати, цитати супроводжуються належними посиланнями на їх авторів та джерела опублікування.

Зауваження до змісту дисертації

При розробці конструкції опор контактної мережі із бетону з композитною арматурою не враховано декілька конструктивних особливостей таких елементів:

1. В опису конструкції не вказано, чи передбачається заміна поперечної спіралеподібної металевої арматури на композитну або інші види армування з діелектричних матеріалів.
2. За результатами досліджень напружено-деформованого стану встановлено що композитна арматура не забезпечує потрібної несучої здатності при армуванні ідентичному металевою арматурою. В роботі не розроблена методика підбору композитної арматури за кількісними та якісними показниками.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України

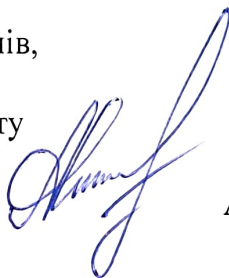
Дисертаційне дослідження Наджафова Ельшада Фаїг огли «Бетонні опорні конструкції з неметалевим армуванням для ЛЕП і контактних мереж» виконане на актуальну тему, відповідає спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, є завершеною науковою працею, в якій отримані нові теоретично обґрунтовані та практично цінні результати, що вирішують важливі науково-прикладні задачі підвищення надійності, довговічності та ресурсу опор контактної мережі залізниць із бетону та інших залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу.

За актуальністю теми дослідження, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю і достовірністю, науковою та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота «Бетонні опорні конструкції з неметалевим армуванням для ЛЕП і контактних мереж» відповідає Порядку підготовки

здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), 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 від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2022 року № 341, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 а її автор – Наджафова Ельшад Фаіг огли, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво.

Офіційний рецензент

доцент кафедри будівельних матеріалів,
конструкцій та споруд
Українського державного університету
залізничного транспорту
кандидат технічних наук, доцент



Андрій НИКИТИНСЬКИЙ



Особистий підпис
засвідчую 05.06.2025 р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Андрія НИКИТИН-
СЬКОГО
Євгенія ЧЕЛОМБІТЬКО