

ЗАТВЕРДЖУЮ:

**Декан будівельного факультету
Українського державного
університету залізничного
транспорту**

к.т.н., доцент



Олексій ДУДІН

«11» квітня 2025 р.

ВИСНОВОК

**Українського державного університету залізничного транспорту про
наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації Наджафова Ельшада Фаїг огли
на тему «Бетонні опорні конструкції з неметалевим армуванням
для ЛЕП і контактних мереж»,
поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
192 – Будівництво та цивільна інженерія 19 – Архітектура та будівництво**

Обґрунтування вибору теми дослідження. Перша електрифікована ділянка на залізницях колишнього радянського простору з'явилась в Азербайджані. Ділянка Баку – Сабунчі була електрифікована постійним струмом 1,2 кВ у 1926 р., а контактна мережа на перегонах підвішена на дерев'яних опорах. Проте масова електрифікація розпочалась лише у 1955–1956 рр. Як опори контактної мережі спочатку застосовували металеві гратчасті або трубчасті стояки, які встановлювали в котловани, заповнювані бетоном. Але така конструкція була визнана надто металомісткою, тому майже одразу почалось застосування залізобетонних опор. Одним із розповсюджених типів опорних конструкцій контактної мережі стали залізобетонні конічні центрифуговані опори. Проте за майже сім десятирічь масової експлуатації залізобетонних опор з'ясувалось, що на ділянках, електрифікованих постійним струмом, вони зазнають інтенсивного електрокорозійного впливу з пошкодженням переважно сталевий арматури їх підземної частини. Тому розробка альтернативних конструкцій опор, зокрема, бетонних з

корозійностійкою композитною арматурою, та оцінка їх несучої здатності є актуальним завданням.

Разом з тим в експлуатації залишається значна кількість залізобетонних опор. Великий досвід їх експлуатації дозволив мінімізувати електрокорозійний вплив постійних струмів витоку за допомогою ізоляції підземної частини, комбінованого армування попередньо-напруженим високоміцним дротом і ненапруженою стержневою арматурою, ізолюючими деталями. Проте пошкодженням різного характеру піддається і надземна частина опор. Одним із розповсюджених типів пошкоджень залізобетонних конструкцій, які знижують їх довговічність, є корозія арматури внаслідок карбонізації (нейтралізації) захисного шару бетону. Тому дослідження кінетики карбонізації бетону опор контактної мережі є актуальним завданням, розв'язання якого сприятиме підвищенню їх надійності, довговічності та ресурсу.

Корозійних впливів аналогічним чином зазнають схожі на опори конічні залізобетонні конструкції кільцевого перерізу інших галузей господарства. В металургії, паливно-енергетичному комплексі, виробництві будівельних матеріалів більшість технологічних процесів забезпечуються горінням палив, що є окисленням сполук вуглецю киснем повітря. Підведення повітря та відведення продуктів горіння забезпечується природною тягою, створюваною за допомогою залізобетонних димових труб. Інтенсивність тяги пропорційна висоті труби, тому труби потужних підприємств повинні бути капітальними довговічними спорудами. Через недостатню корозійну стійкість бетону на портландцементі довговічність залізобетонних труб забезпечується футеруванням зсередини керамічною цеглою і виконанням цегляного оголовку та у випадку пошкодження (обвалення) футерування може суттєво знизитись. Терміни служби футерування менше ніж несучої конструкції труби, тому впродовж експлуатації стан футерування та залізобетонної конструкції в місцях його обвалення вимагає постійного моніторингу, який ускладнюється безперервністю технологічних процесів, що забезпечує труба. Через порівняно нетривалий у порівнянні з економічно обґрунтованою довговічністю досвід будівництва та експлуатації залізобетонних димових труб (переважно з 1970-х рр.) та різноманітний хімічний склад газодимових сумішей, багато аспектів моніторингу їх стану, прогнозування довговічності та раціонального розподілу ресурсів на поточні та капітальні ремонти, як і для залізобетонних пор контактної мережі, залишаються невивченими.

Отже, в роботі піднімається коло актуальних питань, пов'язаних з надійністю, довговічністю, ресурсом опор контактної мережі залізниць із

бетону, зокрема, кінетикою нейтралізації та інших видів корозії залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу для прогнозування їх остаточного ресурсу, несучою здатністю опор із бетону з композитною арматурою як альтернативи уразливим для електрокорозії залізобетонним опорам.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у складі держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України «Теоретичні та експериментальні основи створення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих для захисту від електрокорозії і ремонту споруд залізничного транспорту» (ДР № 0122U002125), грантової теми Університету Західної Шотландії і УкрДУЗТ «Integrated rail freight optimisation in Ukraine: Railway sleepers, rolling stock and logistics» (ДР № 0123U102700).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є теоретичні та експериментальні основи підвищення надійності, довговічності та ресурсу опор контактної мережі залізниць із бетону.

Завдання досліджень:

1. Аналіз конструкції, технології виробництва та умов експлуатації залізобетонних конічних центрифугованих опор контактної мережі залізниць, аналітичний огляд літературних даних з обраної теми.
2. Термодинамічний аналіз, дослідження кінетики карбонізації бетону прискореним способом і натурними обстеженнями.
3. Визначення впливу чинників на залишковий ресурс опор статистичними методами.
4. Експериментальне дослідження модуля пружності та зчеплення з бетоном композитної та сталевую дротяною арматури.
5. Побудова скінчено-елементної моделі конічної кільцевого перерізу конструкції із бетону, армованої попередньо-напруженою композитною арматурою, аналіз її напружено-деформованого стану.
6. Розрахунковий і натурний експеримент з навантаженням спрощених моделей конструкції із бетону з попередньо напруженою композитною і сталевую дротяною арматурою.
7. Розробка та апробація методики прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу, які зазнають впливу агресивних середовищ.

8. Розроблення та впровадження на залізниці Азербайджану методики прогнозування залишкового ресурсу експлуатованих залізобетонних опор контактної мережі.

9. Розробка конструкцій із бетону з композитною арматурою для електрифікованих ділянок залізниці. Впровадження результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – процеси деградації бетону і сталеві арматури опор від атмосферних та електричних впливів, несуча здатність опор з дрітчастою сталевією та композитною арматурою.

Предмет дослідження – опори контактної мережі залізниць із бетону з попередньо напруженою дрітчастою сталевією та композитною арматурою.

Методи дослідження. В роботі використано комплексний підхід до вирішення поставлених задач, зокрема: – 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 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 сталевією арматурою, шляхом розрахункового експерименту з аналізом напружено-деформованого стану опор із застосуванням методу скінчених елементів і програмного комплексу ЛПРА-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 сталевією дрітчастою арматурою.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше встановлено, що нейтралізація $Ca(OH)_2$ 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 а, отже, водопоглинанням бетону, величини ефективного коефіцієнту дифузії CO_2 в бетоні D' з часом зменшуються за рахунок колюматації 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.

Достовірність отриманих результатів забезпечена обґрунтованим застосуванням методів розрахунків, зокрема за допомогою ліцензованого програмного забезпечення, стандартних та оригінальних методів досліджень та вимірювань, статистичною обробкою отриманих результатів, збіжністю теоретичних, розрахункових, експериментальних результатів. Обґрунтованість отриманих результатів обумовлена їх відповідністю фундаментальним положенням і закономірностям фізичної хімії, зокрема хімічної термодинаміки, колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці методики прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу, які зазнають впливу агресивних середовищ, у т.ч. опор контактної мережі на залізниці Азербайджану, а також розробці і включенні в проєкт державних будівельних норм України конструкції роздільної металевої опори контактної мережі на буронабивному фундаменті із бетону з композитною арматурою, а також у наданні відповідних знань майбутнім фахівцям галузі шляхом впровадження в початковий процес.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї і розробки автора, що дозволили вирішити поставлені завдання. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. Використані в дисертації ідеї, положення, гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

У спільних наукових публікаціях здобувачеві належить наступний внесок: розрахунки кінетики карбонізації, порівняння їх результатів з результатами натурних досліджень на залізниці Азербайджану [1];

порівняльний аналіз результатів розрахунків методом скінчених елементів опор контактної мережі, армованих сталевим дротом і композитною арматурою [2]; аналіз агресивного впливу з розрахунком показників кінетики просування фронту корозії в конструкції кільцевого перерізу [3]; участь в аналізі результатів впливу постійного та пульсуючого односпрямованого струму на бетон і арматуру зразків [4]; аналітичний огляд літературних джерел з питань армування бетонних виробів композитною арматурою [5, 8]; обробка результатів експериментальних досліджень, побудова діаграм деформування зразків [6]; аналіз досвіду експлуатації залізобетонних опор контактної мережі на залізниці Азербайджану [7]; участь в теоретичному обґрунтуванні складу дрібнозернистого бетону із заданими властивостями [9]; участь у розробці технологічного рішення попереднього натягу композитної арматури [10, 11].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження апробовані на: 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.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані у 11 роботах: 4 статті у фахових виданнях України категорії Б, 1 стаття у виданні, що індексуються НМБД 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. Загальний обсяг наукових праць складає 4,75 друк. арк., з них особисто автору належать 2,0 друк. арк.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до наукометричних баз:

1. Наджафов Е.Ф., Чженьхуа Є., Плугін Д.А., Плугін А.А., Дудін О.А. Кінетика карбонізації захисного шару бетону залізобетонних опор контактної мережі залізниць. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, 210 (2024) 87–103. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320835>

2. Наджафов Е. Ф., Пługін Д. А., Пługін А. А., Лобяк О.В. Несуча здатність опор контактної мережі залізниць із бетону, армованого композитною арматурою. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 26 (2024) 54–62. <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/315300>

3. Пługін А.А., Жван В.Д., Лобяк О.В., Назаренко О.М., Наджафов Е.Ф., Березовська А.О. Прогнозування залишкового ресурсу залізобетонної димової труби коксохімічного виробництва. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, 208 (2024) 51-67. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308146>

4. Пługін А.А., Муригін М.А., Крикун О.П., Наджафов Е.Ф., Зінченко В.В. Експериментальні дослідження впливу електричних потенціалів на корозійні процеси в залізобетонних шпалах. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, 207 (2024) 38-51. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.207.2024.301944>

5. Andrii Plugin, Olena Kaliuzhna, Oleksii Lobiak, Dmytro Plugin, El'shad Faih Ohly Nadzhafov, Markus Lagler. Regarding the replacement of steel reinforcement in prestressed concrete sleepers with composite rebars. AIP Conf. Proc. 3064, 060003 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0199575>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Пługін А.А., Панченко С.В., Муригін М.А., Пługін Д.А., Наджафов Е.Ф., Лобяк О.В. Порівняльні дослідження моделей бетонних конструкцій, армованих попередньо напруженою сталевую та композитною арматурою. Тези доповідей 10 Міжнародної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (ТрансБуд-2024), УкрДУЗТ, Харків (20-22.11.2024) 45-48.

<https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/tezi-transbud-2024-2.pdf>

7. Наджафов Е.Ф., Пługін Д.А., Пługін А.А., Лобяк О.В., Слепченко С.В. Опорні конструкції контактної мережі залізниць із бетону, армованого композитною арматурою. Збірник тез міжнар. наук.-техн. конфер. «Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій», ОДАБА, Одеса, 23.04.2024. С. 96-99.

https://drive.google.com/file/d/1jI7vWluCtPrF4HO4P4BpNs-_at6XPvwR/view

8. Пługін А.А., Калюжна О.В., Муригін М.А., Наджафов Е.Ф., Пługін Д.А. Перспективи застосування композитної арматури в шпалах із бетону. Міжнар. наук.-техн. конфер. «Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі». ХНАДУ. Харків. 08-09.11.2022. С. 107-113.

https://rcf.khadi.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/Збірник_тез_-_Редакція_.pdf

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

9. Пługін А.А., Чайка В.М., Мусієнко С.М., Наджафов Е.Ф. Особливо дрібнозернистий бетон із відходів ГЗК для будівельних виробів. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, 208 (2024) 79-91. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308196>

10. Спосіб виготовлення шпал із бетону з попередньо напруженою арматурою. МПК E01B 3/34, E04G 21/12. УкрДУЗТ. Пługін А.А., Пługін Д.А., Муригін М.А., Панченко С.В., Чжи В, (Zhu W.), Любяк О.В., Муригін А.В., Пługін О.А., Калюжна О.В., Муригіна Н.О., Дудін О.А., Наджафов Е.Ф.о. Заявка на видачу патенту на винахід № а 2023 06180. Заявл. 18.12.2023.

11. Спосіб виготовлення шпал із бетону з попередньо напруженою арматурою. МПК E01B 3/34, E04G 21/12. УкрДУЗТ. Пługін А.А., Пługін Д.А., Муригін М.А., Панченко С.В., Чжи В, (Zhu W.), Любяк О.В., Муригін А.В., Пługін О.А., Калюжна О.В., Муригіна Н.О., Дудін О.А., Наджафов Е.Ф.о. Заявка на видачу патенту на корисну модель u202306182. Заявл. 18.12.2023.

Результати дисертаційної роботи повністю відображено в публікаціях.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Загальний висновок

Дисертаційне дослідження Наджафова Ельшада Фаїг огли виконане на актуальну тему, 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. Практична значущість підтверджена актами впровадження результатів дисертаційного дослідження в проєкті державних будівельних норм України та у навчальному процесі УкрДУЗТ.

Дисертаційна робота викладена послідовно, з обґрунтуванням актуальності досліджень, формулюванням робочої гіпотези, мети і завдань досліджень, оглядом існуючих теоретичних уявлень і їхньої практичної реалізації, вибором методів досліджень і матеріалів і самими теоретичними й експериментальними дослідженнями.

Автором доведено достовірність і обґрунтованість отриманих результатів, що відповідають фундаментальним положенням і закономірностям фізичної хімії, зокрема хімічної термодинаміки, колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем. Наукові положення та отримані результати дослідження апробовано на науково-технічних конференціях та знайшли повне відображення в публікаціях.

За актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Наджафова Е.Ф. відповідає спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 – Архітектура та будівництво) 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.

Дисертація Наджафова Ельшада Фаїг огли на тему: «Бетонні опорні конструкції з неметалевим армуванням для ЛЕП і контактних мереж» може бути рекомендована до подання та захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Головуючий на засіданні –

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри «Будівельні матеріали,
конструкції та споруди»



Людмила ТРИКОЗ

Секретар засідання

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Будівельні матеріали,
конструкції та споруди»



Олег ГЕРАСИМЕНКО