

ВІДГУК

**офіційного опонента ТІОТЬКІНА Олексія Леонідовича
на дисертаційну роботу МУСІЄНКА Сергія Миколайовича
на тему: «Підвищення експлуатаційних якостей залізобетонних шпал
для нероздільних рейкових скріплень», що подана на здобуття ступеня
доктора філософії за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт»
(галузь знань «27 Транспорт»)**

Актуальність теми дисертаційного дослідження. До середини ХХ століття основним типом підрейкової основи на залізницях були дерев'яні шпали. Проте зі зростанням осьових навантажень, швидкостей руху, вантажонапруженості та посиленням вимог до елементів колії їхні експлуатаційні властивості перестали відповідати сучасним умовам. Через низьку біостійкість, чутливість до вологи та деформацій дерев'яні шпали поступово були замінені попередньо напруженими залізобетонними.

Водночас в Україні залізобетонні шпали також нерідко не забезпечують нормативного строку служби. Шпали типу Ш1 передчасно виходять з експлуатації внаслідок корозії вузла закладного болта, а шпали під безпідкладкові проміжні рейкові скріплення типу СБЗ часто зазнають тріщиноутворення, що потребує їх дострокової заміни. Особливо це характерно для шпал.

Однією з причин є те, що для використання наявного виробничого обладнання шпали СБЗ були створені на основі конструкції Ш1 із мінімальними змінами геометрії. У результаті вони мають практично однакову конструкцію та схему армування, виконуються з бетону класу С32/40 і армуються високоміцним дротом діаметром 3 мм.

У країнах із розвинутим залізничним транспортом застосовують інші конструктивні рішення: арматуру більшого діаметра з меншою кількістю стержнів, анкерне закріплення арматури та бетони вищих класів міцності. Це свідчить про можливість підвищення експлуатаційних характеристик шпал шляхом удосконалення їх конструкції, армування та складу бетону. Дослідження цих факторів є актуальним, оскільки сприятиме зменшенню пошкоджуваності шпал і збільшенню строку їхньої служби.

За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що дисертаційна робота Мусієнка Сергія Миколайовича відповідає вимогам, встановленим до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Робота характеризується актуальністю, науковою новизною, теоретичною та практичною цінністю, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» (галузь знань 27 «Транспорт»).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності і новизни. У результаті виконаних досліджень отримано нові наукові результати, серед яких подальшого розвитку набули уявлення про електрофізичні властивості залізобетонних шпал, а також про процеси корозії й електрокорозії, що відбуваються в них. Зокрема, вперше одержано кількісні характеристики впливу захисту арматури бетонним шаром на торцях шпал на величину електричного опору між рейковими скріпленнями та торцевими поверхнями, через які відбувається стікання струмів витоку. Крім того, вперше виконано ранжування агресивних чинників, зокрема електричних впливів, за ступенем їх впливу на корозійні процеси арматури, що має випуски з торців шпал.

Подальшого розвитку також набули наукові уявлення щодо напружено-деформованого стану залізобетонних шпал, виготовлених із бетону з попередньо напруженою анкерованою арматурою. Уперше отримано діаграми деформування шпал і їх фізичних моделей, визначено кількісні показники впливу анкерування арматури на напружений стан моделей і шпал, а також встановлено моменти виникнення тріщин у цих конструкціях.

Достовірність і належний рівень обґрунтованості основних положень дисертаційної роботи підтверджуються виконаними теоретичними та прикладними дослідженнями, отриманими результатами, сформульованими пропозиціями, а також висновками, що логічно випливають із проведеного дослідження.

Зв'язок дисертації з науковими темами, програмами та планами.

Дослідження були виконані здобувачем на кафедрі залізничної колії і транспортних споруд Українського державного університету залізничного транспорту в рамках науково-дослідних робіт, що отримали державну реєстрацію (ДР): ДРН_{0122U002125} – «Теоретичні та експериментальні основи створення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих для захисту від електрокорозії і ремонту споруд залізничного транспорту», що виконувалась УкрДУЗТ у 2022–23 рр. за кошти державного бюджету України; ДРН_{0123U102700} – “Integrated rail freight optimisation in Ukraine: Railway sleepers, rolling stock and logistics”, що виконувалась УкрДУЗТ за кошти UK–Ukraine R&I twinning grants scheme, project 11150 у 2023–24 рр.; ДРН_{0125U002307} – «Дослідження жорсткості й тріщиностійкості залізобетонних попередньо-напружених шпал з анкерованою стержневою арматурою та їх порівняння з характеристиками шпал, армованих високоміцним дротом», що виконувалась УкрДУЗТ за господарчим договором з ТОВ «Гранпостач Україна» у 2025 р.; ДРН_{0126U002127} «Теоретичні та експериментальні основи створення стійких до електричних і динамічних впливів бетонних виробів з композитною арматурою для будівництва та відновлення електрифікованих ділянок залізниць», що виконується УкрДУЗТ з 2026 р. за кошти державного бюджету України.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Зміст дисертаційної роботи засвідчує, що здобувач на високому рівні володіє сучасними методами наукових досліджень, уміє їх обґрунтовано та коректно застосовувати для вирішення поставлених наукових завдань і досягнення визначеної мети дослідження.

Дисертація містить значний обсяг ілюстративного та табличного матеріалу, який забезпечує наочність викладених результатів і сприяє їх кращому сприйняттю. Наведені матеріали також підтверджують достатній рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, практичних рекомендацій та запропонованих автором технічних рішень.

У дисертації та наукових публікаціях Мусієнка С. М. порушення академічної доброчесності не виявлені.

Мова і стиль дисертаційної роботи. Дисертаційна робота викладена послідовно, логічно та грамотно з дотриманням вимог наукового стилю. Наукова новизна, висновки, пропозиції та практичні рекомендації є достатньо обґрунтованими і підтверджені результатами теоретичних, експериментальних та статистичних досліджень. Зміст роботи повною мірою відображає основні результати проведених досліджень, а стиль викладення відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій такого рівня. Аналіз тексту свідчить про належний рівень мовного оформлення, при цьому суттєвих порушень норм сучасного українського правопису не виявлено.

Структура роботи. Дисертація Мусієнка С. М. складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 221 сторінку, у т. ч. основний текст займає 159 сторінок. Матеріали дисертації проілюстровано 74 рисунками, 19 таблицями та містять 5 додатків. Список використаних джерел налічує 117 найменувань.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено її зв'язок із науковими програмами та планами, сформульовано об'єкт, предмет, мету і завдання дослідження. Також висвітлено наукову новизну, обґрунтованість і достовірність отриманих результатів, їх практичне значення, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів дослідження.

Автор звертає увагу на те, що вітчизняні шпали виготовляються переважно з бетону класу С32/40, тоді як у багатьох технологічно розвинутих країнах застосовуються бетони вищих класів міцності, отримані за рахунок удосконаленого складу бетонної суміші та використання якісніших матеріалів. Це свідчить про наявність недостатньо досліджених факторів, що впливають на експлуатаційні властивості залізобетонних шпал, зокрема конструктивних особливостей, складу бетону та характеристик його

компонентів. Їх дослідження дасть змогу підвищити довговічність шпал, зменшити рівень їх пошкоджуваності та збільшити експлуатаційний ресурс. Актуальність теми також підтверджується виконанням досліджень у межах державних науково-дослідних робіт, що фінансувалися Міністерством освіти і науки України.

Розділ 1 присвячено аналізу нормативної бази, наукових джерел і результатів обстежень залізобетонних шпал. Розглянуто їхні конструктивні та технологічні особливості, основні види пошкоджень і причини їх виникнення. Встановлено, що найбільш уразливими є шпали для безпідкладкових рейкових скріплень, у яких переважають тріщини в зоні підрейкових площадок. Проаналізовано вплив струмів витоку на електрифікованих дільницях, а також сучасні підходи до підвищення тріщиностійкості шпал і міцності бетону.

У **розділі 2** наведено методику досліджень, охарактеризовано використані матеріали та розроблено комплекс експериментальних методик. Запропоновано методику дослідження впливу анкерування арматури на напружено-деформований стан шпал із використанням фізичних моделей і чисельного моделювання методом скінченних елементів. Також розроблено методики оцінювання впливу положення арматури, дисперсного армування, крупності заповнювачів, агресивних середовищ і струмів витоку на тріщиностійкість, міцність та експлуатаційні властивості залізобетонних шпал.

У **розділі 3** наведено результати експериментально-теоретичних досліджень корозійних і фізико-механічних властивостей шпал. Встановлено, що дія струмів витоку підвищує електричний опір бетону, але прискорює проникнення хлоридів до арматури та інтенсифікує її корозію. Дослідження показали, що анкерування арматури саме по собі не забезпечує підвищення міцності й тріщиностійкості, тоді як збільшення попереднього напруження істотно покращує ці показники. Визначено, що зміна розташування арматури підвищує тріщиностійкість у зоні рейкового скріплення, а застосування фібри, оптимізація гранулометричного складу заповнювачів і введення мікрокремнезему суттєво збільшують міцність бетону на розтяг.

У розділі 4 досліджено електрофізичні та фізико-механічні властивості залізобетонних шпал і запропоновано напрями удосконалення їх конструкції. Встановлено механізм проходження струмів витоку через шпалу та їхню роль у розвитку електрокорозії арматури. Розроблено схеми електричного опору шпал і доведено, що захист торців арматури бетоном значно підвищує електричний опір між рейковим скріпленням і торцем шпали. Порівняльні випробування удосконалених шпал із анкерованою арматурою, підвищеним попереднім напруженням та бетоном вищого класу підтвердили зростання тріщиностійкості, довговічності та експлуатаційного ресурсу.

У розділі 5 наведено результати впровадження дослідження. Розроблено рекомендації щодо конструкції та технології виготовлення залізобетонних шпал, які використано під час створення нової конструкції попередньо напруженої шпали з анкерованою і захищеною арматурою та організації її виробництва. Впровадження результатів забезпечило позитивний соціально-економічний ефект, а також стало основою для розроблення способу ремонту підрейкової основи залізничних мостів, захищеного патентом. Одержані результати впроваджено також у навчальний процес підготовки бакалаврів, магістрів і докторів філософії відповідних спеціальностей.

Дисертаційна робота завершується загальними висновками, які підтверджують виконання поставлених завдань і досягнення мети дослідження, а також містить список використаних джерел і додатки.

За сукупністю отриманих результатів і рівнем викладення наукових положень дисертаційна робота Мусієнка Сергія Миколайовича є завершеним науковим дослідженням, у якому отримано вагомі наукові результати, що характеризуються належним рівнем обґрунтованості та достовірності.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи. За матеріалами дисертації опубліковано 14 наукових праць. Основні результати дисертаційного дослідження з достатньою повнотою апробовані на 7 міжнародних конференціях у 2022–26 рр. та опубліковані у 5 роботах, з яких 2 статті у фахових виданнях України категорії Б, 3 статті у виданнях, що індексуються НМБД Scopus.

Наведений у дисертації перелік наукових публікацій та їх зміст повністю відповідають тематиці проведеного дослідження і достатньою мірою відображають основні положення, висновки та наукові результати, отримані автором у процесі виконання дисертаційної роботи.

Окремі дискусійні питання і зауваження.

1. Досліджувані шпали армовані високоміцним дротом Вр1400. Незрозуміло, чому для фізичних моделей шпал обрано звичайну м'яку сталь з границею текучості 320 МПа, попередньо напружену до значення близько 250 МПа, а не Вр1400 зі значенням попереднього напруження, наприклад, 1000 МПа.

2. Визначена за діаграмою деформування (рис. 2.5, стор. 59) величина модуля пружності сталі 29285 МПа в декілька разів менша довідкової величини $2 \cdot 10^5$ МПа. Необхідно було пояснити причини отримання такого значення.

3. Апроксимація напруження-деформації арматури (рис. 2.5, стор. 59) поліномом шостого ступеня є надмірною. Поліном шостого порядку коливається та екстраполує ненадійно. На мій погляд, достатньо було апроксимації пружної стадії лінійним рівнянням.

4. Прийнята в розрахунок напружено-деформованого стану моделі величина модуля пружності сталі 29285 МПа могла призвести до помилкових висновків за результатами цього розрахунку.

5. Незрозуміло, як враховувалось осідання опор під час вимірювання деформацій моделей (рис. 2.14, стор. 70).

6. Надписи на шкалах полів напружень (рис. 3.5-3.8, стор. 104-107) є нечитабельними, що знижує їхню ілюстративність.

7. Незважаючи на надто високі величини квадрата коефіцієнта кореляції апроксимація графіків «момент – прогин» моделей кубічними рівняннями (рис. 3.9, стор. 108 та рис. 3.11, стор. 111) також не зовсім відповідає дійсному характеру їхнього деформування, оскільки «виводить» діаграму на неіснуючу вторинну пружну деформацію.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Мусієнка Сергія Миколайовича на тему «Підвищення експлуатаційних якостей залізобетонних шпал для нероздільних рейкових скріплень» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Дисертація є завершеним науковим дослідженням, заслуговує на позитивну оцінку, а її автор, Мусієнко Сергій Миколайович, – на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри
«Транспортна інфраструктура»
Українського державного
університету науки і технологій

Олексій ТЮТЬКІН

