

ВІДГУК

офіційного опонента професора Кропивницької Тетяни Павлівни на дисертаційну роботу Зінченко Олексія Сергійовича на тему «Бетони, будівельні розчини та композиційні полімерні матеріали з використанням поліфракційних рециклінгових наповнювачів із залізничних залізобетонних шпал», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

Актуальність теми дослідження. Внаслідок військових дій в Україні зруйновано та пошкоджено значну кількість об'єктів промислової та цивільної інфраструктури. У зв'язку зі збільшенням обсягів колійних робіт і переходу залізниць на звужену Євроколію із заміною рейко-шпальної решітки, а також наближенням терміну відпрацювання залізобетонних шпал, постає питання їхньої утилізації. Одним із можливих шляхів повторного використання будівельних відходів у результаті руйнування є одержання заповнювачів та наповнювачів для композиційних матеріалів. Разом з тим, основним недоліком таких вторинних перероблених матеріалів є їх неоднорідний склад та нестабільні фізико-механічні характеристики (підвищена пористість, водопоглинання, понижена міцність та ін.). З урахуванням цього перспективним є напрямок використання вторинних перероблених заповнювачів у бетонах, будівельних розчинах та композиційних полімерних матеріалах. У той же час, важливою проблемою згідно з напрямками Європейського зеленого курсу (Green Deal) є забезпечення вуглецевої нейтральності, впровадження інновацій, екологізації промисловості. Тому розроблення бетонів, будівельних розчинів та композиційних полімерних матеріалів з використанням поліфракційних рециклінгових наповнювачів із залізничних залізобетонних шпал є актуальним як з економічної, так і з екологічної точок зору.

Актуальність вибраного напряму досліджень підтверджується тим, що дисертаційна робота пов'язана за тематикою кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Наукові дослідження були виконані здобувачем в межах держбюджетних НДР у 2020-2026 рр, відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України.

Аналіз основного змісту роботи, її наукової новизни, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Основні наукові положення роботи полягають у розробленні принципів отримання ефективних бетонів, будівельних розчинів та композиційних полімерних матеріалів з використанням поліфракційних рециклінгових наповнювачів із залізничних залізобетонних шпал та встановленні залежностей їх фізико-механічних властивостей. В дисертаційній роботі визначено вплив поліфракційних заповнювачів і наповнювачів рециклінгу залізобетонних шпал на міцнісні характеристики, пористість бетонів,

будівельних розчинів та композиційних полімерних матеріалів.

В якості **наукової новизни** слід відзначити наступне:

- вперше встановлено залежності фізико-механічних характеристик бетонів, будівельних розчинів та полімерних композиційних матеріалів від співвідношення в'язучого та поліфракційних рециклінгових заповнювачі із подрібнених залізобетонних залізничних шпал і розроблено схеми електрогетерогенних контактів між негативно зарядженими активними поверхневими центрами поліметилметакрилату і низькоосновними гідросилікатами кальцію та позитивно зарядженими поверхневими центрами усіх інших продуктів гідратації цементу;

- подальший розвиток отримали уявлення про формування структури будівельних розчинів і бетонів на основі крупної, дрібної та пилюватої фракції рециклінгових заповнювачів і наповнювачів із застосуванням у розрахунках оптимальних значень коефіцієнтів розсунення частинок піску і цементу дрібною і пилюватою фракціями, які становлять 3,0 і 1,7 та структури полімерних композиційних матеріалів за рахунок взаємодії протилежно заряджених активних центрів поліметилметакрилату і наповнювача із пилюватої фракції рециклінгу залізобетонних залізничних шпал.

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробленні методу отримання рециклінгових заповнювачів із залізобетонних залізничних шпал, що сприятиме зменшенню накопичення старопридатних шпал на підприємствах залізничного транспорту. Розроблено склади бетонів, будівельних розчинів та полімерних наповнених матеріалів з використанням поліфракційних рециклінгових заповнювачів і наповнювачів при збереженні достатньої міцності.

Рекомендовані склади полімерного композиційного матеріалу було використано для ремонту опор шляхопроводу, який розташований на 2 км ПК8 ділянки Основа-Харків-Пас регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Українські залізниці». При виготовленні бетону за рахунок зменшення витрати цементу, заміни природних заповнювачів щебню і піску на рециклінгові, зменшення об'ємів їх видобутку та перевезень із кар'єрів рівень зменшення вуглецевого сліду складає 13 % / м³.

Результати досліджень використовуються в освітньому процесі Українського державного університету залізничного транспорту в при підготовці бакалаврів, магістрів і докторів філософії спеціальності G19 Будівництво та цивільна інженерія за освітньою програмою «Промислове та цивільне будівництво», а також спеціальності J7 Залізничний транспорт за освітньою програмою «Залізничні споруди та колійне господарство».

Оцінка наукових публікацій. За темою дисертації здобувачем опубліковано 17 наукових праць, з яких 8 – у фахових виданнях України, 1 – у виданні, що індексується НМБД Scopus, 6 - у працях апробаційного характеру, стаття в іноземному журналі, патенті на корисну модель.

Зміст публікацій відповідає заявленим об'єкту, предмету та завданням дослідження та 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».

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

Дисертація складається з анотації, змісту, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг роботи - 167 сторінок, з яких основний текст складає 113 сторінок і містить 59 рисунків та 11 таблиць. Список використаних джерел включає 161 найменування.

Зміст дисертації є цілісним, логічно впорядкованим і повністю узгоджується з метою та завданнями дослідження. Здобувачем виконано всі необхідні етапи наукового дослідження від теоретичного обґрунтування до експериментальної перевірки та практичного впровадження результатів, що свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям. У дисертації коректно оформлено посилання на джерела, дотримано вимог академічного цитування, відсутні ознаки порушення академічної доброчесності. Представлені результати відповідають сучасному рівню наукових досліджень і підтверджені публікаціями та апробацією. Сформульовані автором висновки ґрунтуються на отриманих в процесі досліджень результатах та не викликають сумніву.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Зінченко Олексія Сергійовича є результатом самостійних досліджень здобувача та не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Зінченко О.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 Архітектура та будівництво.

Аналіз основного змісту дисертації.

У **вступі** автором обґрунтовано актуальність теми дослідження, показано її зв'язок з науковими програмами і планами. Визначена мета повністю узгоджується з назвою роботи, а задекларовані завдання вказують на шляхи її досягнення. Об'єкт і предмет дослідження відповідають темі дослідження. Розкрито наукову новизну і практичне значення результатів роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз проблематики щодо використання відходів знесення бетонних конструкцій з врахуванням вітчизняного та світового досвіду їхнього використання. Розглянуто узагальнені результати досліджень щодо впливу подрібнених відходів на властивості будівельних матеріалів та закономірності формування властивостей бетонів, цементно-піщаних розчинів і полімернаповнених матеріалів із рециклінговими заповнювачами. Проведено огляд методів підвищення якості рециклінгових заповнювачів та матеріалів на їх основі та розглянуто технологічні підходи до покращення їх властивостей. Сформульовані теоретичні передумови

досліджень та наукова гіпотеза щодо розроблення бетону, будівельного розчину і полімеркомпозиційного матеріалу з використанням рециклінгових наповнювачів з необхідними фізико-механічними властивостями.

У другому розділі наведено характеристики матеріалів, які використовувалися при проведенні досліджень, методи випробувань фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей матеріалів. Автором представлено спосіб отримання заповнювачів із залишків залізобетонних шпал і методику прискореного визначення геометричних характеристик рециклінгових заповнювачів, а саме гранулометричного складу і ступеня обкатаності зерен, обробкою цифрових зображень програмою ImageJ, яка дозволяє за короткий час визначати розміри, кількість і форму частинок розмірами від 1 мкм і більше. Слід відміти використання нового підходу до одержання заповнювачів рециклінгу шляхом подрібнення відходів залізобетонних шпал та подальшим сухим помелом із застосуванням певного співвідношення сталевих помольних тіл визначених розмірів, який дозволяє збільшити ступінь очищення поверхні крупного заповнювача до 95 % із збереженням його кубовидної форми для подальшого застосування у бетонних і розчинових сумішах. На розроблений спосіб отримання заповнювачів із залишків залізобетонних шпал було отримано патент на корисну модель

Третій розділ присвячений теоретичним передумовам створення матеріалів на основі рециклінгових заповнювачів і наповнювачів. Розділ включає аналіз властивостей оброблених крупних заповнювачів, структурний підхід до покращення властивостей матеріалів і полімернаповнених матеріалів з використанням рециклінгових наповнювачів. Відповідно до досліджень Харківської наукової школи професора Плугіна А. М., для досягнення максимальної щільності та міцності матеріалів створено наукові підходи щодо розроблення складів розчинів, у яких використовуються подрібнені відходи бетонних конструкцій із різним зерновим складом. З врахуванням принципу, за яким відстань між частинками заповнювача повинна відповідати розміру зерен на нижчому рівні структури розраховано середній розмір частинок наповнювача з подрібнених відходів бетонних шпал для досягнення оптимального розсування зерен і формування шару в один ряд та проведено порівняння з експериментальними даними з досягненням подібності значень. На основі літературних даних електроповерхневих потенціалів мінералів портландцементного клінкеру, продуктів гідратації цементу та поліметилметакрилату ПММК (власні розрахунки автора) спрогнозовано механізм структуроутворення композиційних матеріалів як на основі цементу, так і дрібної фракції залишків бетону. Показано роль електроповерхневих властивостей поліметилметакрилату у формуванні структури полімерних композицій та визначено умови досягнення електрогетерогенної взаємодії.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень, які підтверджують ефективність механічного очищення та хімічного модифікування рециклінгових заповнювачів. Встановлено оптимальні умови формування міцності цементно-піщаних розчинів і бетонів,

визначено закономірності зміни пористості та структури матеріалів з часом твердіння. Фізико-хімічні дослідження підтвердили відмінності у структурі матеріалів на основі природних і рециклінгових заповнювачів залежно від способу обробки заповнювачів.

П'ятий розділ демонструє практичне застосування розроблених полімернаповнених композиційних матеріалів під час ремонту залізничних споруд, що підтверджує їхню ефективність у реальних умовах експлуатації. Наведено результати оцінювання вуглецевого сліду, які засвідчують зменшення викидів CO₂ завдяки заміні природних компонентів рециклінговими матеріалами та частковому заміщенню цементу. Показано також використання результатів дослідження в освітньому процесі.

У загальних висновках узагальнено виконання поставлених завдань і підтверджено досягнення мети дослідження, а додатки містять матеріали, що доповнюють основний зміст роботи. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У дисертаційній роботі не виявлено ознак академічного плагиату та інших порушень, що могли б поставити під сумнів дотримання норм академічної доброчесності.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним до основних наукових положень дисертаційної роботи, а також містить необхідну інформацію, яка дає достатнє уявлення сутності досліджень і отриманих автором результатів.

В цілому позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, наукове і практичне значення одержаних результатів, слід висловити **певні зауваження:**

1. У назві дисертаційної роботи автор зазначає використання «поліфракційних рециклінгових наповнювачів із залізничних залізобетонних шпал». Разом з тим, у дисертації (розділи 2, 4, 5) проводиться розробка способу отримання заповнювачів із залишків залізобетонних шпал (п. 2.1.1), методики визначення розмірів зерен і форми рециклінгових заповнювачів (п. 2.2.2), дослідження впливу рециклінгових заповнювачів на властивості бетонів і будівельних розчинів та фізико-хімічних характеристик заповнювачів (п. 4.1-4.3, 4.6), подається методика розрахунку вуглецевого сліду до бетонів на основі рециклінгових заповнювачів (п. 5.2, табл. 5.1, 5.2). Тому у назві дисертації більш доречним було б використання ширшого терміну «заповнювачі» або «рециклінгові матеріали».

2. Якість та фізико-механічні характеристики заповнювачів для бетону було оцінено відповідно до національних стандартів, багато з яких у 2026 році втратили чинність. Слід було провести порівняльні дослідження на відповідність європейським стандартам, що дозволило б оцінити рециклінгові заповнювачі згідно з сучасними вимогами та встановити ширші можливості їхнього використання.

3. Автор стверджує (с. 97), що «хімічний склад і пориста структура роблять подрібнені залишки переробленого бетону цеолітоподібними матеріалами, які можуть демонструвати пуцоланову активність – реакцію з гідроксидом кальцію з утворенням нерозчинних силікатів кальцію». Разом з тим, цеоліти характеризуються впорядкованою кристалічною алюмосилікатною структурою з наявністю регулярної системи мікропор (молекулярних сит), що забезпечує їх специфічні сорбційні та іонообмінні властивості. Натомість подрібнені залишки переробленого бетону мають переважно аморфну або слабкокристалічну структуру з нерегулярною пористістю. Тому їх віднесення до цеолітоподібних матеріалів не в повній мірі відповідає наведеному обґрунтуванню.

4. У розділі 4 автором наведено результати міцності (рис. 4.15) бетону з використанням рециклінгового щебеню неочищеного, просоченого силікатом натрію, очищеного і природнього (табл.4.2). Автор стверджує (висновок 2, с.118), що «..як механічне видалення залишків старого цементно-піщаного розчину, так і просочення залишкового шару розчином силікату натрію позитивно впливають на фізико-механічні характеристики бетону, у порівнянні з варіантами на необроблених заповнювачах». З рис. 4.15 видно, що міцності бетону двох серій з неочищеним рециклінговим щебенем і обробленим силікатом натрію відрізняються незначно і знаходяться приблизно в межах 10 МПа (7 діб) і 19-21 МПа (28 діб), тоді як механічно оброблений щебінь показує міцність приблизно в 1,4 рази вищу. Це свідчить про низьку ефективність оброблення рециклінгових заповнювачів силікатом натрію. Крім того, введення додаткового силікату натрію може змінювати водопотребу бетонної суміші та реологічні властивості. При цьому неясно, яка рухливість бетонної суміші була отримана при сталому В/Ц=0,5 для всіх складів.

5. Для прогнозування довговічності бетонів на основі поліфракційних рециклінгових наповнювачів різних серій із залізничних залізобетонних шпал з використанням методів растрової електронної мікроскопії та рентгенофазового аналізу слід було дослідити гідратні новоутворення та структуру контактної зони між заповнювачем рециклінгу та цементним каменем.

6. Потребують пояснення значення міцності на згин для композицій полімерного наповненого матеріалу “полімер - мінеральний наповнювач”, які досягають значень 90,7 МПа, що майже в 3,5 рази перевищує міцність на стиск 25,7 МПа (п.4.4, текст с. 198, рис. 4.27) .

7. Бетони та будівельні розчини на основі заповнювачів рециклінгу характеризуються підвищеною водопотребою, тому важливо було застосувати пластифікуючі добавки та дослідити їх вплив на реологічні та технологічні властивості розроблених матеріалів.

Наведені зауваження не зменшують цінності важливого та своєчасного дослідження з огляду на актуальність теми.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Зінченко Олексія Сергійовича на тему «Бетони, будівельні розчини та композиційні полімерні матеріали з використанням поліфракційних рециклінгових наповнювачів із залізничних залізобетонних шпал» за актуальністю, обсягом виконаних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичної цінності, повнотою викладення результатів досліджень у наукових виданнях є завершеною науковою працею, відповідає спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 Архітектура та будівництво) та вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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. Враховуючи належний науковий рівень виконання дисертаційної роботи вважаю, що її автор, Зінченко Олексій Сергійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 Архітектура та будівництво.

Офіційний опонент:

професор кафедри будівельного виробництва
Інституту будівництва, інфраструктури та
безпеки життєдіяльності
Національного університету
“Львівська політехніка”
доктор технічних наук, професор

Тетяна КРОПИВНИЦЬКА

Особистий підпис д.т.н., професора Т.П. Кропивницької “засвідчую”

Вчений секретар
Національного університету
“Львівська політехніка”



Роман БРИЛИНСЬКИЙ

« 14 » 05 2026 р.