

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

про дисертаційну роботу Зверєвої Аліни Сергіївни  
**«Полімермінеральні композити з регульованими деформативними властивостями для основ залізобетонних транспортних споруд»**,  
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**Актуальність обраної теми.** Відомо, що на залізничні споруди із залізобетонними конструкціями протягом експлуатації впливають різні руйнівні фактори – механічні дії, динамічні навантаження, атмосферні впливи, агресивні середовища, електричні струми тощо, які спричиняють численні пошкодження. Однією зі складових здатності залізобетонних конструкцій чинити опір руйнівним впливам є незмінність властивостей їх основ у часі. Це безпосередньо пов'язано з складом полімермінеральних композиційних матеріалів, з яких виготовляються основи для залізничних споруд із залізобетонними конструкціями. На практиці важливо мати змогу, змінюючи якісний та кількісний склад, впливати на формування необхідних властивостей композиційного матеріалу. Отже, розробка нових полімермінеральних композитів з регульованими деформативними властивостями для основ залізобетонних транспортних споруд є актуальним завданням.

**Зв'язок з галузевими науковими програмами.** Дисертаційна робота, виконана автором на кафедрі «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) у межах трьох держбюджетних і двох госпдоговірних науково-дослідних робіт кафедри, де автор був співвиконавцем. Держбюджетні науково-дослідні роботи мають державну реєстрацію.

### **Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій.**

- вперше отримані діаграми «напруження - відносна деформація», «кількість циклів динамічного навантаження - відносна деформація» та деформативні властивості полімерцементних композитів різних складів і термінів твердіння та ґрунтополімерних композитів, отриманих за певними режимами ін'єктування;
- набули подальшого розвитку уявлення про механізм проникнення сумішей у технологічні зазори і порожнини між конструкціями, а також поровий простір ґрунтів, отримано відповідну реологічну модель; встановлено, що глибина проникнення суміші залежить від товщини нерухомого шару вздовж поверхонь, а також від абсолютного значення тиску суміші й тривалості прикладання цього тиску;
- набули подальшого розвитку уявлення про формування деформативних властивостей полімермінеральних композитів; встановлено, що модуль деформації ґрунтополімерного композиту залежить від полімермінерального співвідношення, а в ще більшому ступені – від вологості; вперше отримані відповідні експериментальні залежності.

Вхідний № 20/09-30  
« 17 » вересня 2021 р.  
УкрДУЗТ

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується використанням комплексу незалежних стандартних і оригінальних методів дослідження, які взаємно доповнюють один одного. Теоретичні положення роботи підтверджені результатами експериментальних досліджень. Застосування в дисертації сучасних фізико-хімічних методів дослідження дозволило авторові зробити обґрунтовані висновки.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.** Під час виконання дисертаційної роботи, зокрема, аналітичного огляду літератури, розробки теоретичних передумов, формулювання мети та завдань досліджень, автор ґрунтувався на зіставленні експериментальних даних и теоретичних передумов, які базуються на фундаментальних положеннях фізичної та колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів. Зроблені здобувачем висновки і рекомендації узгоджуються з існуючими уявленнями та підтверджені результатами натурних випробувань, отже, є обґрунтованими.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Розроблені склади полімермінеральних композитів з регульованими деформативними властивостями, використання яких забезпечує можливість підвищення довговічності безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит, а також водопропускних труб, що експлуатуються на нестійких основах.
2. Розроблено практичні рекомендації з підвищення несучої здатності основ штучних споруд.
3. Результати досліджень використані у навчальному процесі УкрДУЗТ під час удосконалення курсів лекцій, практичних і лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та 273 «Залізничний транспорт».

#### **Зміст і оформлення дисертації, її завершеність**

Дисертаційна робота автора складається із анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 106 найменувань і чотирьох додатків. Дисертація викладена на 189 сторінках основного тексту. У тексті дисертації містяться 96 рисунків і 28 таблиць.

У анотації українською мовою викладено короткий зміст дисертаційної роботи та ключові слова. Наведено список опублікованих наукових праць за темою дисертації, а також перелік публікацій апробаційного характеру. До кожної публікації зазначено особистий внесок здобувача. Приведена анотація англійською мовою.

У вступі автором обґрунтовано актуальність роботи, мета і завдання, визначені об'єкт та предмет досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Визначено особистий внесок здобувача. Приведено відомості про структуру дисертації, перелік публікацій та апробацію результатів дисертаційного дослідження.

У першому розділі виконано аналіз умов експлуатації залізобетонних транспортних споруд, які зазнають передчасних пошкоджень через недоліки спільної роботи з основами – безбаластного мостового полотна із залізобетонних

плит, залізобетонних водопропускних труб, а також аналіз матеріалів, придатних для таких основ, які дозволять знизити максимальні напруження в конструкціях та підвищити довговічність. Встановлено, що для прокладного шару безбаластного мостового полотна доцільним є застосування полімерцементних композитів, а для основ залізобетонних водопропускних труб – ґрунтополімерних композитів. За результатами аналітичного огляду зроблені висновки.

#### ***Зауваження до першого розділу:***

*1. В переліку літературних джерел, які аналізуються автором, відсутні посилання на патенти та авторські свідоцтва.*

У другому розділі автор наводить характеристики основних матеріалів та методів досліджень. Для розробки і дослідження полімермінерального композиту для прокладного шару безбаластного мостового полотна застосовувався портландцемент марки ПЦ І-500, полівінілацетатна емульсія, добавка суперпластифікатор порошкоподібний марки СП-1, добавка-прискорювач твердіння кальцій хлорид, добавка стабілізуюча крохмаль модифікований, пісок кварцовий, карбонатний наповнювач – вапнякова мука. Для порівняння застосовувались полімерцементні суміші марок Emaco Fast Fluid та SikaGrout-316, епоксидна композиція марки Sikadur-42 HE, силікатно-уретанова композиція марки ГеоФлекс+. Для створення і дослідження полімерґрунтових композитів для основ штучних споруд застосовувались поліуретанові матеріали марки SPT<sup>®</sup> та супісок пластичний.

Легкоукладальність сумішей і фізико-механічні характеристики полімермінеральних композитів визначались відомими методами. Розтікання сумішей і деформативні характеристики досліджувались за оригінальною методикою на моделях вузла сполучення плити безбаластного мостового полотна, прокладного шару і подовжньої балки мосту.

Фізико-механічні та деформативні властивості ґрунту та ґрунтополімерних композитів визначались методом компресійного стиску на зразках ґрунту та композиту (отриманого ін'єктуванням двокомпонентного матеріалу SPT<sup>®</sup> в ґрунт), а також за оригінальною методикою на моделях, штучно виготовлених у замкнених циліндричних ємностях шляхом ін'єктування у штучно ущільнений ґрунт. Довговічність ґрунтополімерного композиту оцінювалась через порівняння втрати маси зразків від кількості циклів поперемінного водонасичення та висушування у порівнянні з втратою маси аналогічних матеріалів з відомою довговічністю.

Взаємодія між полімером і мінеральними складовими композитів досліджувалась методом ІЧ-спектроскопії.

#### ***Зауваження до другого розділу:***

*1. На с. 92-94 наведено опис розробленої оригінальної методики оцінки показників довговічності ґрунтополімерного композиту. Нажаль, в методиці немає рекомендацій щодо того за якими властивостями найбільш доцільно оцінювати довговічність.*

Третій розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню фізико-механічних властивостей і довговічності полімермінеральних композитів для

основ залізобетонних транспортних споруд. В розділі приведено обґрунтування фізико-механічних характеристик полімермінеральних композитів для прокладного шару безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит, обґрунтування підвищення довговічності роботи конструкції з полімерних композиційних матеріалів, обґрунтування підвищення стабілізації та гідроізоляції ін'єкційних полімерних матеріалів для заглиблених та підземних споруд та розробка фізичної і математичної моделей проникнення ін'єкційного розчину у тріщину.

Шляхом розрахункового експерименту за допомогою ПК ЛИРА-САПР 2018 Pro (Ліцензія № 1/6638) виконано аналіз напружено-деформованого стану залізобетонної плити безбаластного мостового полотна на прокладному шарі. Встановлено, що мінімальні величини напружень і деформацій у найбільш пошкоджуваних місцях плити забезпечуються в разі модуля деформації прокладного шару понад 10 ГПа, а зусилля затягування шпильок не більше 100 кН. Встановлено, що міцність наливного прокладного шару безбаластного мостового полотна, необхідна для монтажу і відкриття руху згідно з встановленою технологією укладання, зокрема, хронометражем, має складати не менше 1 МПа через 2 години після заливання і не менше 5 МПа через 28 діб. Розроблено реологічну модель суміші, отримано залежності глибини проникнення суміші від тривалості ін'єктування за різних ширини технологічного зазору, динамічної в'язкості, тиску ін'єктування, водоцементного відношення, вмісту добавки суперпластифікатора, а також залежності динамічної в'язкості від потрібної глибини проникнення суміші. До розділу наведено висновки.

***Зауваження до третього розділу:***

- 1. У розділі розроблено математичну модель проникнення ін'єкційного розчину у тріщину. В результаті отримано рівняння, яке дозволяє аналізувати та досліджувати технологічні умови процесу ін'єктування. Проте, обґрунтування граничних умов для досліджуваних факторів, приведених на с. 111, не знайшло відображення в тексті розділу.*
- 2. В тексті розділу не наведено експериментального підтвердження розробленої математичної моделі.*

**У четвертому розділі** наведено розробку та експериментальні дослідження реологічних і фізико-механічних властивостей полімермінеральних композитів для основ залізобетонних транспортних споруд. Розділ включає розробку складів для влаштування прокладного шару під плити безбаластного мостового полотна; дослідження реологічних та міцностних характеристик полімеркомпозиційних та цементно-водних сумішей для прокладного шару; експериментальні дослідження деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту на моделі; дослідження показників довговічності закріпленого ґрунту та фізико-хімічні випробування поліуретанових матеріалів SPT та ґрунтополімерної композиції.

Виконано експериментальні дослідження деформативних та інших фізико-механічних властивостей полімермінеральних композитів. Отримано діаграми «напруження - відносна деформація», «кількість циклів динамічного

навантаження - відносна деформація» та величини модуля деформації, динамічного модуля деформації полімерцементних композитів різних складів і термінів твердіння та полімерґрунтових композитів, отриманих за певними режимами ін'єктування. В результаті експериментальних досліджень розроблено склад полімермінерального композиту на основі портландцементу, вінілацетатного полімеру та хімічних добавок з модулем пружності через 1 добу твердіння 9 ГПа, через 7 діб - 24,6 ГПа. Встановлено, що на відміну від традиційного хімічного закріплення ґрунту силікатизацією або смолізацією, які забезпечують рівномірне просочення ґрунту, матеріал і технологія SPT забезпечують утворення в ґрунті коренеподібних армуючих елементів. За результатами компресійних випробувань встановлено, що модуль деформації ґрунтопімерного композиту в 1,4 рази перевищує модуль деформації ґрунту у природному стані. Показано, що підвищення несучої здатності під час закріплення забезпечується не тільки утворенням ґрунтополімерних армуючих тіл, а й за рахунок витіснення води. Прогнозована довговічність закріплення ґрунту матеріалом SPT очікується на рівні 100 років. До розділу зроблені висновки.

***Зауваження до четвертого розділу:***

- 1. У підрозділі 4.1 наведені рецептури розроблених складів композитів. Але не зазначено за яким принципом здійснювалась розробка і яким чином були отримані ці склади.*
- 2. У підрозділі 4.5.1 методом ІЧ-спектроскопії показано, що у ґрунтополімерному композиті відбувається фізико-хімічна взаємодія між частинками ґрунту та поліуретаном з утворенням водневих зв'язків. Проте, в тексті немає аналізу та не проведено взаємозв'язок між даним фактом та властивостями отриманого композиту.*
- 3. У висновках до розділу відсутній висновок щодо досліджень ІЧ-спектроскопією.*
- 4. Висновок 4.8 до розділу потребує конкретизації.*

У **п'ятому розділі** представлені експлуатаційні випробування та впровадження ін'єкційних полімерних складів для заглиблених та підземних споруд. Для улаштування прокладного шару під плитами безбаластного мостового полотна із розробленої композиції запропоновано нове конструктивно-технологічне рішення. Результати досліджень дозволили удосконалити технологію ремонту тунелів шляхом ін'єктування цементних розчинів та застосувати її для ремонту не тільки тунелів, а також водопропускних труб та мостових опор. Ґрунтополімерний композит впроваджено під час проведення робіт з капітального ремонту водопропускної труби на 1216 км ділянки Колосівка – Одеса регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця», що підтверджено представленим в додатках до дисертації актом впровадження. Економічний ефект, який досягнуто за рахунок виконання зазначених робіт склав 2 млн. грн.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ за спеціальностями 192 Будівництво та цивільна інженерія і 273 Залізничний транспорт у дисциплінах «Будівельне матеріалознавство»,

«Будівельні матеріали», «Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів і конструкцій».

**Зауваження до п'ятого розділу:**

1. Бажано було б у тексті розділу конкретизувати розроблені рекомендації для підвищення несучої здатності основ та гідроізоляції обробки штучних споруд.

**Загальні висновки** повністю відображають результати виконаних досліджень.

**Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.** Основні положення дисертаційного дослідження автора опубліковано у 14 наукових публікаціях, у тому числі 4 публікації у наукових фахових виданнях України, 1 – у виданні, що включено до міжнародної бази Scopus, 4 – додаткові публікації, 5 публікацій апробаційного характеру.

Робота пройшла апробацію на 5-ти науково-технічних та науково-практичних конференціях України (Харків, Полтава) та Німеччини (Веймар).

Апробації та публікації достатньо повно відображають основні результати дисертаційного дослідження.

**Ідентичність змісту автореферату та основних положень дисертації**

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційного дослідження автора.

**Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

Зауваження, представлені у відзиві, носять дискусійний та рекомендаційний характер і не знижують значимості і позитивної оцінки поданої дисертації. Робота **Зверєвої Аліни Сергіївни** є завершеним дослідженням, яке містить наукові рішення, отримані самостійно, шляхом теоретичних та експериментальних розробок. Актуальність, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність, наукова новизна, практична цінність дисертаційної роботи відповідає вимогам МОН України, що пред'являються до кандидатських дисертацій (пункти 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567). Автор дисертаційної роботи **«Полімермінеральні композити з регульованими деформативними властивостями для основ залізобетонних транспортних споруд» Зверєва Аліна Сергіївна** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та вироботи.

Офіційний опонент,  
професор кафедри будівельних  
композиційних матеріалів і технологій  
Харківського національного  
університету будівництва та архітектури,  
доктор технічних наук, професор



Ю.М. ДАНЧЕНКО

УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР ХНУБА