

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Зверєва Аліна Сергіївна

УДК 691.3 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

ПОЛІМЕРМІНЕРАЛЬНІ КОМПОЗИТИ
З РЕГУЛЬОВАНИМИ ДЕФОРМАТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ
ДЛЯ ОСНОВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

05.23.05 Будівельні матеріали та вироби
19 Архітектура та будівництво

Подається на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



А.С.Зверєва

Науковий керівник: Мірошніченко Сергій Валерійович
кандидат технічних наук, доцент

Харків 2021

АНОТАЦІЯ

Зверєва Аліна Сергіївна Полімермінеральні композити з регульованими деформативними властивостями для основ залізобетонних транспортних споруд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби (19 Архітектура та будівництво). – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена отриманню полімермінеральних композитів для основ залізобетонних транспортних споруд з деформативними властивостями, які забезпечать мінімальні напруження в конструкціях.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та опублікування результатів досліджень, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі виконано аналіз умов експлуатації деяких залізобетонних транспортних споруд, які часто зазнають передчасних пошкоджень через недоліки їх 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 їх конструкціях та підвищити довговічність.

Безбаластне мостове полотно (БМП) із залізобетонних плит застосовують на металевих мостах, укладаючи на подовжні балки мосту. Основою БМП є прокладний шар, який має забезпечувати проектне положення плит і рівномірно передавати на балки постійні й тимчасові навантаження. Доведено, що прикріплення плит до балки має бути жорстким. В теперішній час застосовується переважно гумово-дерев'яний прокладний шар товщиною із дубової або соснової дошки і гумової транспортерної стрічки, а зусилля натягу шпильок, які притискають плити через прокладний шар до балок мосту,

складає 127,5 кН. Такий шар зручно улаштувати, проте через гниття деревини він швидко втрачає свої властивості та вимагає заміни кожні 7–10 років. В процесі експлуатації плити часто зазнають передчасних пошкоджень, в основному у вигляді тріщин. Вважається, що серед факторів, що спричиняють пошкодження - недосконалість конструкції і матеріалів прокладного шару, які обумовлюють нерівномірність його деформативних властивостей та, відповідно, розподілу напружень у плиті. Для запобігання тріщиноутворення пропонувалось застосовувати наливний прокладний шар із епоксидно-кам'яновугільного композиту. Проте, незважаючи на очевидну зручність його улаштування він не знайшов застосування.

Також був виконаний аналіз матеріалів, придатних для улаштування наливного прокладного шару. Вони мають характеризуватись високими рідкістю, швидкістю набору міцності та довговічністю. На будівельному ринку наявні суміші, призначені для подібного використання під час ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій: полімерцементні сухі суміші Emaco Fast Fluid, SikaGrout-316, епоксидна композиція Sikadur-42 HE, силікатно-уретанова композиція ГеоФлекс+. Проте їх придатність для прокладного шару невідома, вони є дорогими. Недостатньо дослідженим залишається також механізм руху суміші по технологічному зазору під час улаштування наливного прокладного шару, який забезпечує однорідність його властивостей, в першу чергу деформативних.

На залізницях України експлуатується значна кількість інших штучних споруд із залізобетонних конструкцій, наприклад, водопропускні труби, тунелі. Частина їх пошкоджень також обумовлена нерівномірними деформаціями їх основ. Так, водопропускні труби схильні до осідання під осями колій, а під укосами насипів - набагато менше. Це призводить до застоювання води в середині труби та її подальшому осіданню. Деформативність основ намагаються знизити ін'єкційними методами, створюючи композити із ґрунту і в'язучої речовини. Проте питання забезпечення однорідності таких композитів, особливо їх деформативності, залишаються недостатньо вивченими.

Показано, що для прокладного шару безбаластного мостового полотна доцільним є застосування полімерцементних композитів, а для основ залізобетонних водопропускних труб - створення полімерґрунтових композитів.

У другому розділі наведені характеристики основних матеріалів і методів досліджень. Для розробки і дослідження полімермінерального композиту для прокладного шару безбаластного мостового полотна застосовували портландцемент ПЦ І-500, полівінілацетатну емульсію ПВАЕ, добавку суперпластифікатор порошкоподібну СП-1, добавку прискорювач твердіння хлорид кальцію ХК, добавку стабілізуючу крохмаль модифікований КМ, пісок кварцовий з модулем крупності 1,1 і 2,6, карбонатний наповнювач - вапнякову муку, воду водопровідну. Для порівняння застосовували полімерцементні суміші Emaco Fast Fluid, SikaGrout-316, епоксидну композицію Sikadur-42 HE, силікатно-уретанову композицію ГеоФлекс+. Для створення і дослідження ґрунтополімерних композитів для основ штучних споруд застосовували поліуретанові матеріали SPT[®] ТУ У 20.1-40781863-001:2016, супісок пластичний з числом пластичності 0,03, середньою густиною 2060 кг/м³, густиною частинок 2700 кг/м³.

Легкоукладальність сумішей полімермінеральних композитів визначали розтіканням у см за віскозиметром Суттарда, а також розтіканням в моделі зазору товщиною 25 мм між плитою БМП і подовжньою балкою мосту. Фізико-механічні характеристики полімермінеральних композитів (густина, міцність на стиск та згин) визначали випробуванням зразків-призм 160×40×40 мм після 1, 7 і 27 діб твердіння. Розтікання сумішей і деформативні характеристики полімермінеральних композитів досліджували за оригінальною методикою на моделях вузла сполучення плити БМП, прокладного шару і подовжньої балки мосту.

Фізико-механічні та деформативні властивості ґрунту та ґрунтополімерного композиту визначали методом компресійного стиску на зразках ґрунту природного залягання та композиту, отриманого ін'єктуванням двокомпонентного матеріалу SPT[®] в ґрунт. Деформативні властивості ґрунту та ґрунтопо-

лімерного композиту під статичним та динамічним навантаженням досліджували також за оригінальною методикою на їх моделях, штучно виготовлених у замкнених циліндричних ємкостях шляхом ін'єктування у штучно ущільнений ґрунт. Для статичних і динамічних випробувань використовували дві контрольні моделі з ґрунтом і три моделі ґрунтополімерного композиту.

Статичне навантаження здійснювали за допомогою порталного пристосування з домкратом і манометром, динамічне – випробувальною машиною МУП-50. Довговічність ґрунтополімерного композиту оцінювали через порівняння втрати маси його зразків від кількості циклів поперемінного водонасичення та висушування у порівнянні з втратою маси аналогічних матеріалів з відомою довговічністю.

Взаємодію між полімером і мінеральними складовими композитів досліджували методом інфрачервоної спектроскопії. ІЧ-спектри отримували за допомогою спектрометра Bruker Alpha (Німеччина) в інфрачервоній області довжин хвиль 400–4000 см⁻¹.

У третьому розділі виконано теоретичне обґрунтування фізико-механічних властивостей, у т.ч. деформативності, полімермінеральних композитів для основ залізобетонних транспортних споруд. Обґрунтування деформативних характеристик композиту для прокладного шару БМП із залізобетонних плит виконано шляхом аналізу їх напружено-деформованого стану. Розрахунковий експеримент проведено методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу ПК ЛИРА-САПР 2018 Pro (Ліцензія № 1/6638) у просторовій постановці. Здійснено аналіз НДС зі змінними параметрами опирання й натягу шпильок для кріплення плити до балок прогонової будови. Модуль деформації прокладного шару приймали рівним 2000 МПа (як у полімерних композитів), 10000 МПа (як у сосни), 35000 (як у бетону С32/40), натяг високоміцних шпильок – 49, 98 і 127,5 кН. Розрахункову схему складено із 38992 фізично нелінійних ізопараметричних об'ємних скінчених елементів СЕ №№ 234 і 236, кількість вузлів – 45126. Контактна взаємодія

між прокладним шаром і плитою не розкривалася внаслідок початкового повного контакту й роботи прокладного шару на всіх етапах навантаження тільки на стиск. Натяг шпильок змодельовано навантаженням пластини кріплення шпильки. Прийнято, що прокладний шар опирається на абсолютно жорстку основу.

Експериментальна модель плити завантажувалась поетапно. На першому етапі враховано власну вагу конструкції і натяг шпильок, на другому – тимчасове навантаження від однієї осі рухомого складу 245кН. На кожному етапі навантаження прикладали кроками по 20 % від максимального значення. Розрахунки виконано шагово-ітераційним методом. Результати представлено у вигляді полів напружень і деформацій. За результатами розрахунків виявлено залежності напружень та деформацій в плиті та прокладному шарі від деформативності прокладного шару та сили затягування шпильки.

В результаті аналізу напружено-деформованого стану плити безбаластного мостового полотна і прокладного шару під ним встановлено: при зміні сили натягу високоміцної шпильки від 49 до 127,5 кН і модуля деформації від 2000 МПа до 35000 МПа величини напружень та деформацій змінюються та досягають критичних величин (напруження досягають величини границі міцності). На верхній грані плити при силі натягу шпильок 98–127,5 кН величини напружень розтягу досягають 1,8 МПа, що дорівнює міцності бетону на розтяг. Максимальні напруження на нижній грані плити досягають критичних величин тільки з використанням податливого прокладного шару та при величині натягу шпильки 98–127,5 кН; максимальні напруження стиску досягають величин, близьких до міцності бетону на стиск при силі затягування шпильки 127,5 кН, матеріал прокладного шару на напруження стиску практично не впливає. Напруження у прокладному шарі залежать в більшій мірі від матеріалу прокладного шару, ніж від сили затягування шпильки - напруження зростають зі збільшенням модуля деформації; максимальні прогини у плиті більші при прокладному шарі з меншим модулем деформацій, проте вони незначні (не перевищують 1/12000 довжини прогону).

Напруження у плиті і прокладному шарі наявні як без рухомого навантаження, так і при прикладенні рухомого навантаження, при цьому відзначаються зміни величин напружень аж до зміни їх знаку. Отже, використання нежорсткого прокладного шару з низьким модулем деформації дозволяє зменшити величини максимальних напружень та їх зміни у плиті, але збільшити прогини плити. Доцільно використання жорсткого прокладного шару з модулем деформації понад 10000 МПа за умови сили натягування шпильки, що не перевищує 98 кН.

Виконано теоретичне обґрунтування забезпечення проникнення сумішей полімермінеральних композитів в технологічні зазори, зокрема, між плитою БМП і подовжньою балкою мосту, пустоти ґрунтів основ. Як модель, що відповідає обом випадкам, прийнято проникнення суміші в тріщинуваті скельні ґрунти під час ін'єктування.

Порожнини і тріщини заповнені природною водою під тиском P_v . Під час ін'єктування під тиском P_i протягом часу t суміш проникає на глибину l . Окрему тріщину представлено заповненим водою безкінечно довгим пласким капіляром шириною b_t , товщиною h_t ($b_t \gg h_t$). Суміш тече в капілярі під тиском ін'єктування P_i . Течії заважає природний тиск води в тріщині P_v і тиск P_t від сили тертя в тріщині F .

Заповнення тріщини водою дозволяє зневажити ефектами, пов'язаними з утворенням меніску.

Рівняння стаціонарного потоку суміші у тріщинах є моделлю, придатною для аналізу технологічних режимів ін'єктування. За цим рівнянням можливо дослідити залежності глибини проникнення суміші в тріщини l від тривалості ін'єктування t та інших природних і технологічних факторів, або потрібної для забезпечення певної глибини проникнення розчину l тривалості опресування t від l та інших факторів, або глибини проникнення суміші l від її динамічної в'язкості.

За усіма рівняннями виконано дослідження залежностей: глибини проникнення суміші в тріщини l від тривалості ін'єктування t за різних величин

інших природних і технологічних факторів – ширини розкриття тріщин h_t , наявності (вмісту) у суміші добавки-суперпластифікатора СП, водоцементного відношення В/Ц, динамічної в'язкості суміші η , тиску ін'єктування P_i динамічної в'язкості суміші η , потрібної для проникнення розчину на глибину l , від l за різних величин інших природних і технологічних факторів – h_t , P_i , t . Дослідження проведено для значень та меж величин цих факторів: h_t – від 0,1 до 10 мм; вмісту добавки суперпластифікатора СП – 0 і 1 % від маси цементу, В/Ц – 0,35 і 0,5, яким відповідають значення η : СП = 0 %, В/Ц = 0,35 – $\eta = 10$ Па·с; СП = 0 %, В/Ц = 0,5 – $\eta = 0,25$ Па·с; СП = 1 %, В/Ц = 0,35 – $\eta = 0,005$ Па·с; P_i – 1,6212 і 0,8106 МПа. Тиск природної води P_v прийнято рівним 0.

Зроблено висновки, що суміш без добавок з В/Ц = 0,35, яке забезпечує високі показники водонепроникності та міцності, не здатна проникати у тріщини з великим розкриттям 10 мм на глибину більше 0,5 м навіть під максимальним тиском 1,6 МПа за великої тривалості ін'єктування 10 хв. Збільшення В/Ц без добавок до прийнятної величини 0,5 дозволяє збільшити глибину проникнення до 3–4 м. Проте у тріщини з меншою шириною розкриття 1 мм суміш без добавок проникає на глибину за В/Ц = 0,35 – не більше 0,1 м, а з В/Ц = 0,5 – не більше 0,8–1,2 м, а у тріщини 0,1 мм майже не проникає. Отже, ефективність цементних сумішей без добавок для підвищення водонепроникності та несучої здатності бетонних конструкції спільно з тріщинуватою скельною породою не може бути високою.

Збільшити глибину проникнення цементних сумішей дозволяє застосування добавок-суперпластифікаторів, які знижують їх динамічну в'язкість до величин 0,005 Па·с. Розчин з добавкою-суперпластифікатором навіть за В/Ц = 0,35 проникає у тріщини шириною розкриття 10 мм на глибину 10 м за 0,5–1 хв, у тріщини 1 мм – за 3–7 хв. Тільки такий розчин проникає у тріщини шириною розкриття 0,1 мм, зокрема, за 10 хв на глибину 2 м під тиском 0,8 МПа і на глибину 2,7 м під тиском 1,6 МПа. Отже, ін'єктування цементних сумішей з добавками-суперпластифікаторами дозволяє ефективно забезпечу-

вати підвищення водонепроникності та несучої здатності конструкції спільно з тріщинуватою скельною породою.

Отримані теоретичні залежності та висновки з них підтверджені експериментами з розтікання сумішей полімерцементної композиції в моделі зазору між плитою БМП і балкою мосту.

У четвертому розділі були виконані експериментальні дослідження реологічних властивостей сумішей полімермінеральних композитів і фізико-механічних, у т.ч. деформативних властивостей композитів для основ залізобетонних транспортних споруд. Розроблено склади полімерцементної композиції для наливного прокладного шару безбаластного мостового полотна. Робимо висновок, що зі зменшенням вмісту мінеральної та збільшенням полімерної складових модуль деформації композиту знижується.

Виконано експериментальні дослідження фізико-механічних, у т.ч. деформативних, властивостей полімерґрунтових композитів для основ залізобетонних транспортних споруд.

Робимо висновок, що за сухого стану ґрунту (супіску) з вологістю, меншою 8,6 %, виготовлення композиту не збільшує модуля деформації (не знижує деформативності). Для більш вологих ґрунтів відзначається збільшення модуля деформації за рахунок сполучення з полімером, за вологості: 10 % – у 2,5 рази (від 17,3 до 42,8 МПа); 14 % (границя пластичності) – у 20 разів (від 0,98 до 19,4 МПа); 15 % (середина границь пластичного стану) – у 30 разів (від 0,54 до 16,4 МПа); 16 % (границя текучості) – від нульового значення до 12,2 МПа. Порівняння отриманих величин K_E з показниками консистенції IL дослідженого супіску дозволило зробити висновок, що K_E залежить від вологості W та IL та, отже, від вихідного (природного) стану ґрунту. Коефіцієнт підвищення модуля деформації K_E ґрунту від закріплення складе для ґрунтів консистенції: твердої – від 1 (ефекту немає) до 7; напівтвердої – від 7 до 27; тугопластичної – від 27 до 37; м'якопластичної – від 37 до 49; текучепластичної – від 49 до 65; текучої – від 65 до 130.

Таким чином, в результаті статичних досліджень встановлено, що перетворення ґрунту в ґрунтополімерний композит знижує його деформативність (підвищує модуль деформації). Модуль деформації природного ґрунту за вологості $W = 15\%$ складає 0,5–0,7 МПа. В композиті модуль збільшується за $W = 10,9\%$ – до не менше 11,2 МПа, за $W = 6,9\%$ – до не менше 33,4 МПа. В не меншому ступені модуль деформації підвищує осушення ґрунту: за $W = 11,5\%$ – до 3,9 МПа, за $W = 9,5\%$ – до не менше 33,5 МПа. В результаті динамічних досліджень встановлено, що перетворення ґрунту в ґрунтополімерний композит суттєво знижує його деформативність під динамічними навантаженнями та підвищує динамічний модуль деформації N/ϵ .

В результаті петрографічних досліджень встановлено, що матеріал і технологія SPT[®] забезпечують утворення в ґрунті коренеподібних армуючих елементів поперечним розміром до 700 мм, що складаються із серединної і периферійної зон. Серединна зона є прошарком щільного добре полімеризованого матеріалу, периферійна – ґрунтополімерним композитом із поризованого полімеру і частинок ґрунту. Отже, підвищення модуля деформації основ забезпечується елементами із ґрунтополімерного композиту.

Довговічність ґрунтополімерного композиту в умовах відсутності вивітрювання та інсоляції визначається впливом води. Для оцінки довговічності композиту розроблена оригінальна методика дослідження - змодельований руйнівний вплив поперемінного водонасичення й висушування. Встановлено, що цей вплив спричиняє пошкодження, яке характеризується втратою маси. Встановлено, що втрата ґрунтополімерним композитом 5 % маси досягається за 10 циклів, а 10 % маси ґрунтосилікатним композитом – за 2 цикли. Враховуючи довговічність закріплення ґрунту силікатизацією 15 років прогнозована довговічність ґрунтополімерного композиту очікується на рівні не менше 75 років.

Були виконані дослідження взаємодії між полімером і мінеральними складовими композитів методом інфрачервоної спектроскопії. На спектрах ґрунтополімерного композиту в основному присутні смуги поглинання, ха-

рактерні як для ґрунту, так і для полімеру. Спостерігається відсутність у спектрі композиту смуг 2200–2300 cm^{-1} валентних коливань асиметричних груп $\text{N}=\text{C}=\text{O}$ ціанатів та ізоціанатів і 850 cm^{-1} валентних коливань груп $\text{C}-\text{N}$. Виходячи із молекулярної структури поліуретану це свідчить, відповідно, про більш повну полімеризацію поліуретану в композиті, ніж в полімері, та про утворення водневих зв'язків між молекулами поліуретану та поверхнею мінеральних частинок ґрунту через їх гідроксильні групи. Саме ці зв'язки відповідні за адгезію поліуретану до мінеральних поверхонь та фізико-механічні, у т.ч. деформативні властивості композиту.

У п'ятому розділі надано результати впровадження розроблених полімермінеральних композитів. Для улаштування прокладного шару під плитами БМП із полімерцементного композиту складу 1 запропоновано конструктивно-технологічне рішення. Воно полягає у заливанні суміші композиту через отвори для шпильок в плитах, попередньо встановлених у проектне положення на локальні підкладки-маяки, в технологічний зазор, утворений верхньою гранню балки мосту, нижньою гранню плити і незнімною опалубкою із еластичного полімерного матеріалу.

Полімерґрунтовий композит впроваджено під час проведення робіт з капітального ремонту водопропускної труби на 1216 км ділянки Колосівка – Одеса регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця». Труба зведена із залізобетонних кілець. Кільця безпосередньо під коліями осіли і знаходились у рухомому стані, коливаючись по мірі руху поїздів з виплюском ґрунтової суспензії через шви. Основу труби із розрідженого ґрунту було перетворено у полімерґрунтовий композит шляхом ін'єктування поліуретанового полімеру SPT[®] в основу. Роботи виконано ТОВ «Новий град» за науково-технічного супроводження УкрДУЗТ. Економічний ефект, який досягнуто за рахунок виконання зазначених робіт замість повної перебудови труби з улаштуванням залізобетонних фундаментів, склав 2 млн. грн. Полімерґрунтовий композит рекомендовано застосовувати для гідроізоляції та підвищення несучої здатності конструкцій тунелів, водопропускних труб, мостових опор,

розроблено рекомендації з підвищення несучої здатності основ та гідроізоляції обробки штучних споруд.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі під час удосконалення курсів лекцій, практичних і лабораторних робіт для студентів, магістрантів, докторів філософії спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 273 «Залізничний транспорт».

Ключові слова: полімермінеральні композити, ґрунтополімерні композити, модуль деформації, основи.

ABSTRACT

Zvierieva Alina S. Polymer-mineral composites with adjustable deformation properties for the foundations of reinforced concrete transport structures. – Manuscript copyright.

Dissertation for the Candidate Degree in Engineering Science (PhD in Sci. Eng.) in specialty 05.23.05 Building Materials and Products (19 Architecture and Building). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis deals with the formation of polymer-mineral composites for foundations of reinforced concrete transport infrastructure facilities with the stress-strain properties which provide minimal structural stresses.

The Introduction substantiates the urgency of the research, presents the purpose and tasks of the research, and formulates scientific hypothesis, novelty, and practical value of the results obtained. It also presents the approbation approval and the results which were published, the structure and the scope of the research.

Part One gives the analysis of operational conditions for some reinforced concrete transport infrastructure facilities which suffer premature damage due to failures of their collaboration with the foundations – balastless bridge deck of reinforced concrete slabs, reinforced concrete culverts, and the analysis of the materials suitable for such foundations and which can decrease the maximum stresses in the structures and prolong their service life.

The balastless bridge deck of reinforced-concrete slabs is laid down on the longitudinal beams of metal bridges. The basis of the balastless bridge deck is a gasket layer which keeps the slabs in their final position and transfers the constant and temporary loads to the bridge beams. And the slabs must be rigidly fastened to the beam. Nowadays a 10-mm rubber-and-wooden gasket layer (oak or deal board and rubber belt) is used; the stretching force of the studs which press the slabs through the gasket layer to the bridge beams is 127.5 kN. This layer is easy-to-install; however, due to decay of wood it degrades and must be replaced each 7–10 years. In operation the slabs suffer premature damage, predominantly, in the form of cracks. Among the factors which cause damage there are defects in the structure and material of the gasket layer; they induce an inhomogeneous stress-strain behavior and uneven loading distribution in the slab. It was proposed to use a pourable gasket layer of epoxy carboniferous composite. However, despite the ease of installation, it is not in widespread use.

Besides, the research presents the analysis of the materials suitable for a pourable gasket layer. They are characterized by good spreadability, rapid solidifiability, and durability. The mixtures available in the construction market which can be used for repair works on concrete and reinforced concrete structures are polymer-cement dry mortars *Emaco Fast Fluid*, *SikaGrout-316*, epoxy composition *Sikadur-42 HE*, and silicate-urethane composition *GeoFlex+*. But their serviceability for the gasket layer is unknown and their price is high. Besides, it has not been sufficiently studied how the mixture moves along a technological gap when the gasket layer, which must ensure the homogeneity, primarily, stress-strain behavior, is spread.

A great amount of different engineering reinforced concrete facilities are used on Ukrainian railways, among which are culverts and tunnels. Some failures in them are due to non-uniform deformations in their foundations. Thus, culverts are inclined to subsidence under the track axles, though on the railway slopes this trend is less obvious. It leads to water stagnation in the middle of the culvert with its further settlement. The foundation deformity can be decreased by injecting the

composites of soils and viscous substances. However, the homogeneity of such composites, especially, their deformity, is yet to be studied.

It has been demonstrated that polymer-cement composites are efficient for the balastless bridge deck, and polymer-soil composites are effective for the foundations of reinforced concrete culverts.

Part Two presents the characteristics of main materials and the research methods. The development and research of a polymer composite for the balastless bridge deck layer were conducted with Portland Cement (III I-500), polyvinyl acetate emulsion, powdery super-plasticizer (CII-1), calcium chloride hardening agent, modifying-starch stabilizer, silica sand with fineness modules of 1.1 and 2.6, carbonaceous filler (limestone dust), and tap water. The polymer-cement mortars *Emaco Fast Fluid*, *SikaGrout-316*, epoxy composition *Sikadur-42 HE*, and silicate-urethane composition *GeoFlex+* were used for comparison. The development and research of soil-polymer composites for the foundations of engineering buildings were based on the polyurethane materials SPT[®] TY 20.1-40781863-001:2016, loamy sand plastic with a plasticity index of 0.03, and average density of 2060 kg/m³, and a particle density of 2700 kg/m³.

The placeability of the polymer-mineral composites was determined by means of spreading (in centimeters) with a Southard viscosimeter, and also by means of spreading in a 25-mm model gap between the balastless bridge deck and the longitudinal bridge beam. The physical and mechanical characteristics of polymer-mineral composites (density, compressive strength and bend strength) were determined with prismatic specimens (160×40×40 mm) after 1, 7 and 27 days of hardening. The spreading of mixtures and the stress-strain behavior of polymer-mineral composites were researched by the original technique on the models of interaction between balastless bridge deck, gasket layer, and longitudinal bridge beam.

The physical and mechanical stress-strain properties of soil and soil-polymer composite were determined by the compression method on the specimens of natural soil and the composite obtained by injecting the two-component material SPT[®]

to the soil. The stress-strain behavior of soil and soil-polymer composite under the static and dynamic loading was also researched with the original technique on the models produced in the closed cylindrical reservoirs by means of injecting for an artificially compacted soil. Two control models of soil and three models of soil-polymer composite were used for the static and dynamic testing.

The static loading was generated with the gentry installation equipped with a jack and a pressure gage, and the dynamic loading – with the test machine MYII-50. The durability of the soil-polymer composite was estimated by comparing the mass loss of its specimens with that of similar materials the durabilities of which were known; the testing cycle included several alternative water saturations and drying.

The interaction between the polymer and the mineral components of composites was studied by means of the infrared technique. The infrared spectra were obtained with the Bruker-ALPHA spectrometer (Germany) in the 400–4000 cm^{-1} infrared wavelength.

Part Three presents the theoretical substantiation of the physical and mechanical properties, including the stress-strain behavior of polymer-mineral composites for the foundations of reinforced transport infrastructure facilities. It was conducted for a gasket layer of the balastless bridge deck of reinforced-concrete slabs by analyzing their stress-strain behavior. The design test was conducted with the finite element method with LIRA-SAPR 2018 Pro (Certificate No. 1/6638) by means of a 3D model. This part also deals with the analysis of the stress-state behavior with variable parameters of support and tension of the studs for fastening the slab to the deck girder. The deformation module of the gasket layer was taken equal to 2000 MPa (similar to that of polymer composites), 10000 MPa (similar to that of pine wood), 35000 (similar to that of cement C32/40), the tension of high-strength studs – 49, 98 and 127.5kN. The design diagram was formed of 38992 physically non-linear isoparametric volume finite elements FE No. 234 and No.236, the number of units – 45126. The contact interaction between the gasket layer and the slab did not manifest itself due to the initial full contact and the work

of the gasket layer at all compression loading stages. The tension of the studs was modeled by loading their fastening plates. It was assumed that the gasket layer rested on the absolutely rigid foundation.

The test model of the slab was loaded in stages. The first stage included the dead weight of the structure and the tension of the studs, the second stage included a temporary loading from one axle of the vehicle of 245kN. 20% of the maximum loading was added at each step. The calculation was made with the incremental-iterative method. The results were presented as the stress and deformations fields. They were used for finding the dependencies between stresses and deformations in the slab and the gasket layer and the stress-strain behavior of the gasket layer and the strap force applied to the studs.

The analysis of the stress-strain behavior of a slab on the balastless bridge deck and the gasket layer demonstrated that a change in the torsion force applied to the stud from 49 to 127.5 kN and the deformation module from 2000 MPa to 35000 MPa led to a change in the stress and deformation values; they achieved the critical values (stresses achieved the border strength value). On the top surface of a slab at a torsion force to the studs of 98–127.5 kN, the tensile stresses achieved 1.8 MPa, which is equal to the tensile strength of concrete. The maximum stresses on the bottom surface of a slab reached the critical values only with a flexible gasket layer and at a tensile stress to the stud of 98–127.5 kN; the maximum compression stresses achieved the values close to the compression strength of concrete at a strap force applied to the studs of 127.5 kN, the material of the gasket layer virtually had no effect. The stresses in the gasket layer depended mostly on the material rather than the strap force to the studs; the stresses increased when the deformation module increased. The maximum deflections in a slab were higher for the gasket layer with a lower deformation module, however they were insignificant (did not exceed 1/12000 of the span length).

The stresses in the slab and gasket layer were both without moving loads and with them; the stresses values were considerably changed (even with a sign change). Thus, application of the non-rigid gasket layer with a low deformation

module can decrease the maximum stresses and change them in the slab, but it can increase deflections in the slab. It is efficient to apply a rigid gasket layer with the deformation module exceeding 10000 MPa if the strap forces to the studs do not exceed 98 kN.

This part presents the theoretical substantiation of how the mixtures of polymer-mineral composites penetrate the technological gaps, particularly, ones between the balastless bridge deck slab and the longitudinal bridge beam, and into the interstices of foundation soils. The penetration of a mixture into fissured rocky soils during an injection was taken as the model corresponding to both cases.

The interstices and cracks were filled with natural water under the pressure P_w . During an injection under pressure P_i , which lasted the time t , the mixture penetrated to the depth l . A separate crack was presented as one filled with water of an indefinitely long flat capillary with the breadth b_{cr} , and height h_{cr} ($b_{cr} \gg h_{cr}$). The mixture flew in the capillary under the injection pressure P_i . The flow was hampered by the natural pressure of water in the crack P_w and pressure P_p due to the friction force in the crack F .

The filling of the crack with water allowed neglecting the meniscus formation effects.

The equation describing the stationary current of the mixture in cracks is the model used for the analysis of the technological injection modes. This equation can show the dependencies between the depth at which the mixture penetrated into the crack l and the injection duration t and other natural and technological factors, or between the pressing time t , needed for a certain penetration depth for the mixture l , and the depth and other factors, or between the penetration depth of the mixture l and its dynamic viscosity.

All the equations were used for research into the following dependencies: penetration depths of the mixture into the cracks l on the injection time t at different values of other natural and technological factors, namely, crack growth h_{cr} , additive super-plasticizer in the mixture, W/C ratio, dynamic viscosity of the mixture η , injection pressure P_i of the dynamic viscosity of the mixture η needed for its

penetration to the depth l , on the depth l at different values of other natural and technological factors – h_t , P_i , t . The research was made for the value ranges of such factors: h_t – from 0.1 to 10 mm; additive super-plasticizer SP – 0 and 1% out of the cement mass, W/C ratio – 0.35 and 0.5, which correspond to such values of η : SP = 0 %, W/C = 0.35 – $\eta = 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; SP = 0 %, W/C = 0.5 – $\eta = 0.25 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; SP = 1 %, W/C = 0.35 – $\eta = 0.005 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; P_i – 1.6212 and 0.8106 MPa. The natural water pressure P_w was taken equal to 0.

It has been concluded that the mixture without additives with W/C = 0.35, which provides high values of water permeability and strength cannot penetrate into cracks with a crack growth of 10 mm at a depth of more than 0.5 m even under the maximum pressure 1.6 MPa at a long injecting period of 10 min. A higher W/C without additives can increase the penetration depth up to 3-4 m to an acceptable value of 0.5. However, in cracks with a lower crack growth (1 mm) the mixture without additives penetrates at a depth with a W/C ratio of 0.35 at less than 0.1 m, and with W/C = 0.5 – at less than 0.8–1.2 m, and into cracks of 0.1 mm it did not practically penetrate. Consequently, the efficiency of cement mixtures without additives in terms of increased water permeability and improved bearing properties of concrete structures considering the fissured rock soil is not high.

The penetration depth of cement mixtures can be improved with the application of additive super-plasticizers which decrease their dynamic viscosity to 0.005 Pa·s. The mixture with additive super-plasticizer even if its W/C ratio = 0.35 penetrates at a crack growth of 10 mm to a depth of 10 m in 0.5–1 min, and into cracks of 1 mm – in 3–7 min. Only such a mixture can penetrate into cracks with a crack growth of 0.1 m, particularly, in 10 minutes to a depth of 2 m under pressure of 0.8 MPa and to a depth of 2.7 m under pressure of 1.6 MPa. Consequently, the injecting of cement mixtures with additive super-plasticizers can efficiently provide a higher water permeability and bearing properties of the structure together with the fissured rock soil.

The theoretical dependencies obtained and the conclusions made were confirmed by means of the tests during which the mixtures of polymer-mineral com-

positions were spread in the model gap between the balastless bridge deck and the bridge beam.

Part Four describes the experimental research into the rheological properties of mixtures of polymer-mineral composites, and the physical and mechanical properties including stress strain behavior of the composites used for the foundations of reinforced concrete transport infrastructure facilities. This Part describes polymer-cement compositions for a pourable gasket layer of the balastless bridge deck. It has been concluded that a lower content of mineral component and an increased content of polymer component lead to a lower deformation level.

The research into the physical and mechanical, including stress-strain properties, of polymer-soil composites for the foundations of reinforced concrete transport infrastructure facilities was made.

It has been concluded that dry soils (loamy sand) with moisture of less than 8.6% added to the composites do not increase the deformation module; thus they do not worsen the stress-strain behavior. For wetter soils the deformation module is higher due to their compounding with a polymer at the following moisture: 10 % – by 2.5 times (from 17.3 to 42.8 MPa); 14 % (workability limit) – by 20 times (from 0.98 to 19.4 MPa); 15 % (average workability) – by 30 times (from 0.54 to 16.4 MPa); 16 % (liquid limit) – from zero to 12.2 MPa. The comparison of the K_E values obtained with the index of liquidity IL for the loamy sand under consideration made it possible to conclude that K_E depends on the moisture W and IL, and, therefore, on the initial (natural) state of the soil. The deformation module improvement factor K_E of soil due to stabilization is as follows (according to soil consistency): solid soil – from 1 (no effect) to 7; stiff soil – from 7 to 27; tough soil – from 27 to 37; plastic soil – from 37 to 49; high-plasticity soil – from 49 to 65; extremely high-plasticity soil – from 65 to 130.

Thus, the static research demonstrated that transformation of soil into soil-polymer composite decreases its stress-strain behavior (increases the deformation module). The deformation module of natural soil at moisture of $W = 15\%$ is 0.5–0.7 MPa. In the composite the module increases at $W = 10.9\%$ – up to no less than

11.2 MPa, and at $W = 6.9\%$ – up to no less than 33.4 MPa. Just as much the deformation module increases the soil dewatering: at $W = 11.5\%$ – up to 3.9 MPa, and at $W = 9.5\%$ – up to no less than 33.5 MPa. The dynamic research demonstrated that transformation of soil into soil-polymer composite considerably decreases its stress-strain behavior due to dynamic loads and increases the dynamic deformation module N/ε .

The anthracograph research demonstrated that the material and SPT[®] technology ensure formation of coryneform reinforcing elements with a lateral dimension of up to 700 mm, consisting of the middle and peripheral zones. The middle zone is a layer of dense well-polymerized material, and the peripheral zone is a layer of soil-polymer composite of porous polymer and soil particles. Thus, an increased deformation module for foundations is ensured by elements of the soil-polymer composite.

The durability of soil-polymer composite depends on water effect, not counting weathering and insulation. The composite durability can be estimated by means of the unique method designed by modelling the devastating impact of alternative water saturation and drying. It has been found that this impact results in a mass loss. It was found that such a loss can amount to 5% out of the mass for a soil-polymer composite in 10 cycles, and 10% out of the mass for a soil-silicate composite in 2 cycles. In comparison to 15-year service life for silicified soils, the predicted longevity of a soil-polymer composite is no less than 75 years.

The research deals with the interaction between polymer and mineral components of composites with the infrared spectrographic method. The spectra of soil-polymer composite had predominantly absorption bands, typical for both soil and polymer. The composite spectrum had no 2200–2300 cm^{-1} bands of stretching vibrations of the asymmetrical groups $\text{N}=\text{C}=\text{O}$ of cyanates and isocyanates, and 850 cm^{-1} bands of C-N stretching vibrations. Based on the polyurethane molecular structure it testifies better polymerization of polyurethane in the composite than in the polymer, and formation of hydrogen bonds between polyurethane molecules and the surface of soil mineral particles through their hydroxyl groups. These

bonds characterize polyurethane adhesion to mineral surfaces and the physical and mechanical properties, i.e., the stress-strain behavior of the composite.

Part Five presents the results of implementation of the polymer composites. and describes the engineering solution regarding the installation of the gasket layer of polymer-cement composite 1 under the balastless bridge deck. It implies the spreading of the composite mixture through the stud holes in the slab (installed in its final position on the local screeds) into a technological gap formed by top surface of the bridge beam, bottom surface of the slab, and constant slab form of elastic polymer material.

The polymer-soil composite was applied during the overall repair on a 1216-km culvert of the Kolosivka-Odessa section of Odessa Railways. The culvert consisted of reinforced concrete rings. The rings located under the tracks sank and became movable at each train run, and the soil suspension pumped through the joints. The culvert foundation of the disperse soil was transformed into polymer-soil composite by injecting the SPT[®] polyurethane .noitadnuof eht otni remylop The works were performed by *TOV NOVYY HRAD* under scientific and engineering supervision of UkrSURT. The economic effect was achieved by implementing this solution instead of replacing the culvert and laying down the foundation; it amounted to UAN 2m. It has been recommended to use the polymer-soil composite to waterproof and improve the bearing capacity of tunnels, culverts, and bridge supports. The author developed the recommendations for improving the bearing capacity of foundations and waterproofing the engineering structures.

The results of the thesis research are used in the curriculums for undergraduate, graduate, and post-graduate students of Specialty 192 Construction and Civil Engineering and Specialty 273 Railway Transport in lectures, practical and laboratory classes.

Keywords: polymer-mineral composites, soil-polymer composites, deformation module, foundations.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Мірошніченко С.В., Зверєва А.С. Визначення потрібної міцності прокладного шару безбаластного мостового полотна на етапах монтажу та експлуатації. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 168 (2017) 111–117.

Особистий внесок: аналіз останніх досліджень і публікацій, розрахунок сумарної необхідної міцності прокладного шару.

2. Miroshnichenko S., Plugin D., Kalinin O., Zvierieva A., Reznichenko I. Improved bearing resistance of soil foundations of buildings with injectable polyurethane composites. MATEC Web of Conferences. 230 (2018) 03013.

Особистий внесок: аналіз існуючих способів закріплення основ, участь у дослідженні закріпленні матеріалами і за технологіями SPT®, участь в аналізі результатів випробування деформативних характеристик.

3. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Резніченко І.В., Зверєва А.С. Деформативні властивості ґрунтополімерного композиту: Методика експериментальних досліджень. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 182 (2018) 44–52.

Особистий внесок: участь в розробленні оригінального методу дослідження деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту.

4. Зверєва А.С., Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Резніченко І.В. Деформативні властивості ґрунтополімерного композиту: Експериментальні дослідження. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 76 (2018) 136–142.

Особистий внесок: участь в дослідженні статичних та динамічних випробуваннях моделей закріпленого та незакріпленого ґрунту та аналізі їх результатів.

5. Зверева А.С., Лейбук Я.С., Скорик О.О., Муригіна Н.О. Експериментальне визначення приведеної маси колії. Мости та тунелі: Теорія, дослідження, практика. 15 (2019) 41–46.

Особистий внесок: дослідження методики визначення приведеної маси ґрунту, який бере участь в коливаннях по замірах динамічних напружень в земляному полотні експериментальним методом.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Зверева А.С., Мірошніченко С.В. Полімеркомпозиційний прокладний шар для плит безбаластного мостового полотна: Проблеми та перспективи. Збірник матеріалів Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і виробы – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості». Полтава, 2015, 50–52.

Особистий внесок: аналіз існуючих матеріалів для прокладного шару плит БМП.

7. Мірошніченко С.В., Зверева А.С. Вимоги до міцності та до реологічних властивостей прокладного шару безбаластного мостового полотна. 78 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 160 (додаток) (2016) 82.

Особистий внесок: аналіз впливу хімічних добавок на склад прокладного шару плит БМП та вимог до його властивостей.

8. Мірошніченко С.В., Зверева А.С. Визначення міцностних характеристик прокладного шару безбаластного мостового полотна на етапах монтажу та експлуатації. Тези доповідей 6-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків, 2017, 54–56.

Особистий внесок: уточнення вимог до необхідної міцності прокладного шару на момент монтажу та експлуатації.

9. Мірошніченко С.В., Пługін Д.А., Калінін О.А., Зверева А.С., Резніченко І.В. Ґрунтополімерна композиція на основі ін'єкційного поліуретану

для підсилення основ споруд. Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків, 2017, 205–206.

Особистий внесок: участь в розробленні оригінального методу дослідження деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту.

10. Plugin A.A., Partala N.M., Miroshnichenko S.V., Plugina A.Y., Zvereva A.S. Three-Dimensional Reinforced Cement Composition for Bearing between the Assembled Reinforced Concrete Bridge Deck and the Metal Beams. 20. Internationale Baustofftagung. Weimar, 2018, 2255–2262.

Особистий внесок: аналітичний огляд літературних джерел.

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

11. Зверєва А.С., Микитенко О.І. Оптимізація технології виготовлення залізобетонних шпал за рахунок використання хімічних добавок. Електронне видання «Збірник наукових праць студентів та магістрантів». УкрДАЗТ, 9 (2014) 67–74.

Особистий внесок: пошук та аналіз літератури, експериментальні дослідження впливу хімічних добавок на міцність зразків та аналіз їх результатів.

12. Пługін А.А., Лютий В.А., Савчук Ю.Ю., Зверєва А.С. Композиції на основі шлаколужного в'язучого для ремонту інженерних споруд, що піддаються впливу газоподібних агресивних середовищ. Науковий вісник будівництва. 90(4) (2017) 111–115.

Особистий внесок: аналітичний огляд літературних джерел та участь в експериментальних дослідженнях.

13. Darenskiy O., Bielikov E., Dudin O., Zvierieva A., Oleshchenko A. Results of theoretical and experimental studies on determining the coefficient of subgrade reaction of sleepers for the conditions of main railways with axial loads of 30-35 tons per axle. MATEC Web of Conferences. 230 (2018) 01003.

Особистий внесок: аналіз літератури, участь у обговоренні результатів дослідження.

14. Плугін А.А., Калінін О.А., Мірошніченко С.В., Зверєва А.С., Голіней В.М., Ляхов М.С. Модель проникнення ін'єкційних цементних розчинів у заобробкові тріщинуваті скельні породи. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 196 (2021) 57-69.

Особистий внесок: пошук та аналіз літературних джерел, участь в дослідженнях та обговоренні їх результатів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	29
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ПРО МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	34
1.1 Аналіз матеріалів для влаштування основ для плит безбаластного мостового полотна	34
1.1.1 Конструкції прокладного шару безбаластового мостового полотна на залізобетонних плитах	34
1.1.2 Аналіз літературних даних з причин утворення тріщин.....	41
1.2 Аналіз способів покращення експлуатаційних характеристик плит безбаластного мостового полотна за рахунок регулювання деформаційних властивостей основ	49
1.3 Аналіз ін'єкційних полімерних матеріалів для підвищення експлуатаційних якостей основ підземних споруд.....	52
1.3.1 Закріплення ґрунтів основ	58
1.4 Аналіз технологій ремонту на основі полімерних матеріалів	65
1.4.1 Ін'єктування тріщин в конструкціях.....	69
1.4.2 Улаштування горизонтальної гідроізоляції ін'єкційними способами	73
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1	76
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ	78
2.1 Матеріали для досліджень.....	78
2.2 Методи досліджень.....	79
2.2.1 Методи дослідження фізико-механічних і деформативних властивостей полімермінеральних композитів для матеріалів прокладного шару безбаластного мостового полотна	79
2.2.2 Методи дослідження фізико-механічних і деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту основи штучної споруди	83

2.2.3 Розробка оригінальної методики статичних і динамічних випробувань властивостей ґрунтополімерного композиту основи штучної споруди 86

2.2.4 Розробка оригінальної методики оцінки показників довговічності ґрунтополімерного композиту 92

2.2.5 Фізико-хімічні дослідження полімермінеральних композитів 94

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ДОВГОВІЧНОСТІ ПОЛІМЕРМІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ОСНОВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД 95

3.1 Обґрунтування фізико-механічних характеристик полімермінеральних композитів для прокладного шару безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит 95

3.2 Теоретичне обґрунтування підвищення довговічності роботи конструкції з полімер композиційних матеріалів 103

3.3 Теоретичне обґрунтування підвищення стабілізації та гідроізоляції ін'єкційних полімерних матеріалів для заглиблених та підземних споруд 109

3.3.1 Розробка фізичної і математичної моделей проникнення ін'єкційного розчину у тріщину 109

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3 116

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРМІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ОСНОВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД 117

4.1 Розробка складів для влаштування прокладного шару під плити безбаластного мостового полотна 117

4.2 Дослідження деформативних міцностних характеристик полімер-композиційних та цементно-водних сумішей для прокладного шару 123

4.3 Експериментальні дослідження деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту на моделі 137

4.3.1 Статичні випробування моделей ґрунтополімерного композиту	137
4.3.2 Динамічні випробування моделей ґрунтополімерного композиту	151
4.4 Дослідження показників довговічності закріпленого ґрунту	161
4.5 Фізико-хімічні випробування поліуретанових матеріалів SPT та ґрунтополімерної композиції на його основі	163
4.5.1 Дослідження за допомогою методу інфрачервоної спектроскопії	170
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4	173
РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖУВАННЯ ІН'ЄКЦІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ СКЛАДІВ ДЛЯ ЗАГЛИБЛЕНИХ ТА ПІДЗЕМНИХ СПОРУД	175
5.1 Улаштування прокладного шару під плитами БМП та ремонт підземних штучних споруд	175
5.2 Впровадження та ефективність впровадження ін'єкційних полімерних матеріалів	177
5.3 Використання результатів досліджень у навчальному процесі	178
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 5	178
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	180
ЛІТЕРАТУРА	182
ДОДАТКИ	194

ВСТУП

Актуальність теми. На залізницях України експлуатується значна кількість штучних споруд із залізобетонними конструкціями. Протягом експлуатації на них впливають різні руйнівні фактори - механічні дії, у т.ч. динамічні навантаження, атмосферні впливи, агресивні середовища, електричні струми тощо, внаслідок яких конструкції зазнають пошкоджень - тріщин, деформацій, локальних та суцільних руйнувань бетону. Однією зі складових здатності залізобетонних конструкцій чинити опір цим впливам протягом усього строку служби є властивості їх основ та незмінність цих властивостей у часі. Від деформативних властивостей основ залежать величини напружень та їх розподіл по конструкції, від електричних властивостей - величини струмів витoku тощо. Так, залізобетонні плити безбаластного мостового полотна металевих мостів опираються на дерев'яно-гумовий прокладний шар. Він швидко втрачає свої властивості та вимагає або заміни шару кожні 7–10 років або призводить до передчасного виходу плит з ладу. Залізобетонні водопропускні труби опираються на природний ґрунт, який інтенсивно деформується під осями колій, набагато менше - під укосами насипу. Це призводить до утворення тріщин, осідання середини труби, застоювання в ній води та прискорення подальшого розвитку пошкоджень. Тому розробка нових полімермінеральних композитів з регульованими деформативними властивостями для основ залізобетонних транспортних споруд, зокрема, полімерцементного для прокладного шару під залізобетонним безбаластним мостовим полотном, ґрунтополімерного під залізобетонними водопропускними трубами є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ у складі держбюджетних НДР «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (ДР №0115U000276), «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характери-

стиками» (ДР №0115U000279), «Теоретичні та експериментальні основи визначення, прогнозування та забезпечення несучої здатності та довговічності транспортних споруд в умовах агресивних впливів» (ДР №0119U100295); госпдоговірних темах «Проведення досліджень застосування ін'єкційних полімерних матеріалів SPT для будівництва, реконструкції та утримання споруд залізничного транспорту», «Проведення досліджень з можливості застосування шпал залізобетонних попередньо напружених колії 1520 мм типу СБЗ зі скріпленнями проміжними пружними типу КПП-5 на ділянках підвищеної вантажонапруженості та розробка рекомендацій».

Мета роботи – досягнення модуля деформації полімермінеральних композицій для основ залізобетонних транспортних споруд, який забезпечить мінімальні напруження в елементах конструкції.

Завдання досліджень:

- виконати аналіз матеріалів, придатних для основ залізобетонних транспортних споруд – безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит, залізобетонних водопропускних труб, які дозволять знизити напруження в їх конструкціях;

- виконати аналіз напружено-деформованого стану конструкції залізобетонної транспортної споруди на прикладі безбаластного мостового полотна, визначити модулі деформації основи, які забезпечать мінімальні напруження в конструкціях;

- виконати обґрунтування реологічних властивостей сумішей, які забезпечать улаштування однорідної суцільної основи ін'єкційними методами та наливанням;

- виконати експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів, у т.ч. модуля деформації, придатних для основ залізобетонних транспортних споруд;

- розробити склади полімермінеральних композитів із заданими деформативними властивостями;

- удосконалити і запровадити технологію улаштування однорідної суцільної основи залізобетонної транспортної споруди, впровадити результати дослідження у навчальний процес.

Об'єкт досліджень – деформативні властивості, зокрема модуль деформації, полімермінеральних композитів з мінеральними наповнювачами та полімерною або полімерцементною матрицею, закономірності їх формування.

Предмет досліджень – полімермінеральні композити з мінеральними наповнювачами та полімерною або полімерцементною матрицею для основ залізобетонних транспортних споруд, зокрема, ґрунти, в які ін'єктований уретановий полімер, заливні полімерцементні композити для прокладного шару безбаластного мостового полотна.

Робоча гіпотеза: Регулювання деформативних властивостей, зокрема, модуля деформації, полімермінеральних композитів для основ залізобетонних транспортних споруд дозволить знизити напруження в цих конструкціях та підвищити їх довговічність. Модуль деформації полімермінеральних композитів визначається співвідношенням кількості мінерального наповнювача і полімерної або полімермінеральної матриці.

Методи досліджень. Реологічні, фізико-механічні та деформативні характеристики полімермінеральних композитів для прокладного шару досліджували стандартними методами, а також за оригінальною методикою на моделях вузла сполучення верхньої полиці подовжньої балки, прокладного шару та плити БМП. Фізико-механічні та деформативні властивості ґрунту та ґрунтополімерного композиту визначали методом компресійного стиску на зразках ґрунту природного залягання та композиту, отриманого ін'єктуванням двокомпонентного поліуретанового матеріалу в ґрунт. Деформативні властивості ґрунту та ґрунтополімерного композиту під статичним та динамічним навантаженням досліджували також за оригінальною методикою на штучно виготовлених моделях. Взаємодію між полімерною матрицею і частинками ґрунту досліджували методом інфрачервоної спектроскопії.

Наукова новизна отриманих результатів

- вперше отримані діаграми «напруження - відносна деформація», «кількість циклів динамічного навантаження - відносна деформація» та величини модуля деформації, динамічного модуля деформації композитів різних складів і термінів твердіння та полімерґрунтових 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 крім її в'язкості й товщини тріщини, зазору або порожнини, від товщини нерухомого шару суміші вздовж їх поверхонь, а також від тиску суміші й тривалості витримування цього тиску;

- набули подальшого розвитку теоретичні та експериментальні уявлення про деформативні властивості полімермінеральних композитів: встановлено, що модуль деформації полімерґрунтового композиту залежить від полімермінерального співвідношення, а в ще більшому ступені - від вологості.

Достовірність отриманих результатів забезпечена коректним застосуванням методів досліджень, визначенням характеристик матеріалів декількома різними стандартними та оригінальними методами, повторюваністю результатів випробувань, їх статистичною обробкою, узгодженістю результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

Обґрунтованість результатів досліджень забезпечена застосуванням в теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей фізичної та хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у забезпеченні можливості підвищення довговічності безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит, а також водопропускних труб, що експлуатуються на нестійких основах. Практичне значення одержаних результатів підтверджується розробкою рекомендацій з підвищення несучої здатності основ штучних споруд, а також використанням у навчальному процесі для студентів, ма-

гістрантів, докторів філософії спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 273 «Залізничний транспорт».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження виконані автором особисто, зокрема, самостійно виконано аналітичний огляд літератури з тематики досліджень, експериментальні дослідження та аналіз їх результатів, обробку та побудову експериментальних залежностей. Постановлення завдань досліджень, формулювання наукової гіпотези та нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником, впровадження результатів досліджень – спільно із співавторами публікацій.

Апробація результатів досліджень. Результати дисертаційного дослідження доповідались на: Міжнародній конференції 20 Internationale Baustofftagung, Веймар, Німеччина, 2018; 6 і 7 Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (TransBud), Харків, 2017, 2018; 78 Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, 2016; Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і виробы – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості», Полтава, 2015. У повному обсязі робота доповідалась на міжвузівському семінарі в УкрДУЗТ 05.08.2021.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, з них 4 статті у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 1 публікація у міжнародному періодичному виданні, що індексується НМБД Scopus, 5 публікацій апробаційного характеру, 4 додаткові публікації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 106 найменувань на 13 сторінках, містить 189 сторінки основного тексту, 96 рисунків, 28 таблиць, 4 додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ЦП 0137 Інструкція з укладання та експлуатації безбаластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах / УкрДАЗТ, 2006
2. Мірошніченко С.В. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного мостового полотна // Зб.наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Випуск 125. – С.160–164.
3. Забіяка О.А. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного полотна та опорах залізничних мостів і підвищення їх тріщиностійкості: Дисс...канд. техн. наук: 05.23.05. – Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 2015. – 217 с.
- 3а. ТУ У 26.6-01116472-088-2003 Плити залізобетонні безбаластного мостового полотна зі стержневої арматури без попереднього напруження / ХарДАЗТ. А.М. Плугін, С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін та ін. – Харків, 2003
4. Орешкин А.И. Совершенствование методов расчета и технических решений безбалластного мостового полотна железнодорожных мостов: Дисс...канд. техн. наук: 05.23.11. – Защ. 28.12.2011. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей и сообщений, 2011. - 132 с.
5. [Закора, О.Л.](#) Напружено-деформований стан залізобетонної плити безбаластного мостового полотна [Текст] / О.Л. Загора, С.В.[Ключник](#), Г.О.[Линник](#), М.П [Дитиненко.](#), Д. Л [Івашкевич](#), О. А.Забіяка. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2011. – Вип. 39. – С. 47–50. – DOI: 10.15802/stp2011/6870.
6. Орешкин А.Н. Влияние жесткости прокладного слоя на динамику мостового полотна / А.И. Орешкин, В.В.Кондратов, А.М.Уздин // Известия Петербургского университета путей сообщения. - Санкт-Петербург, 2006. – С. 120 – 126. – DOI: 10.0000/cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zhestkosti-prokladnogo-sloya-na-dinamiku-mostovogo-polotna.
7. ЦП – 0092 Інструкція щодо улаштування й конструкції мостового полотна

на залізничних мостах. Затверджено Наказом Укрзалізниці від 20.06.2002р
№ 310-Ц – Київ, 2002

8. Золотарский А.Ф., Евдокимов Б.А., Исаев Н.М., Крысанов Л.Г., Серебренников В.В., Федулов В.Ф. Железобетонные шпалы для рельсового пути. Под ред. А.Ф.Золотарского. // Транспорт. Москва, – 1980, 270 с.
9. Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал. Под ред. О.П.Мчедлова-Петросяна. // Труды ХИИТа, Харьков, 1971 – Выпуск 122. – 64 с.
10. Manalo, A., Aravinthan, T., Karunasena, W., Ticoalu, A. [A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers](#). // Composite Structures, 2010. – 92 (3). – P. 603-611. – DOI: 10.1016/j.compstruct.2009.08.046
11. Sadeghi, J.M., Babaei, A. [Structural optimization of B70 railway prestressed concrete sleepers](#) // Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering, 2006. – 30 (4). – P. 461-473.
12. Bae Y., Pyo S. Ultra high performance concrete (UHPC) sleeper: Structural design and performance // [Engineering Structures](#), 2020, 210. – 110374.
13. Sadeghi, J., Tolou Kian, A.R., Shater Khabbazi, A. [Improvement of mechanical properties of railway track concrete sleepers using steel fibers](#) // Journal of Materials in Civil Engineering, 2016. – 28 (11). 04016131. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001646
14. J Sadeghi, P Barati. [Comparisons of the mechanical properties of timber, steel and concrete sleepers](#) // Structure and Infrastructure Engineering, 2012. 8 (12), P. 1151-1159
15. Ramezani pour, A.A., Esmaili, M., Ghahari, S.A., Najafi, M.H. [Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers](#) // Construction and Building Materials, 2013. 44. P. 411 418. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.02.076
16. Плугін, А.М., Плугін А.А., Тулей Ю.Л., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А. Досвід експлуатації залізобетонних шпал з пружними

- рейковими скріпленнями, розробленими в УкрДАЗТ // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, Харків, 2014. Випуск 148. С. 92–103.
17. Плугин А.Н., Плугин А.А., Плугин Ал.А., Дудин А.А. Электрическое сопротивление железобетонных шпал с различными типами рельсовых скреплений // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, Харків, 2009. Випуск 111. – С. 245–261.
18. Плуґін А.А., Плуґін А.М., Плуґін Д.А., Борзяк О.С., Скорик О.О., Конєв О.А. Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: Верхня будова колії в залізничних тунелях // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, Харків, 2011. Випуск 122. С.187–201.
19. Пшінько П.О. Підвищення надійності залізничних залізобетонних шпал: Автореф. дис... к.т.н. 05.23.01, ПДАБА, Дніпропетровськ, 2012, 20 с.
20. Коваленко В.В., Заяць Ю.Л., Пшінько П.О. Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних шпал на Знам'янській дистанції колії ПЧ-10 Одеської залізниці // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. В.Лазаряна, Дніпропетровськ, 2015. Випуск 6. С. 149–163.
21. Kurdowski, W. Chemia Cementu i Betonu. Stowarzyszenie Producentów Cementu; Warszawa Kraków: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010. – S. 728/
22. [Mindess, S. Resistance of concrete to destructive agencies // *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, Elsevier, 2019. – P. 251 – 283.](#)
23. [Krivenko, P., Gelevera, O., Kovalchuk, O., Bumanis, G., Korjakins, A. Alkali-aggregate reaction in alkali-activated cement concretes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. – 660\(1\). – 012002.](#)
24. [Czapik, P., Owsiak, Z. Chemical corrosion of external stairs - Case study. *MATEC Web of Conferences*, 2018. – 163. – 05003.](#)
25. Stark J., Wicht B. Dauerhaftigkeit von Beton // Architektur und Bauwesen Weimar Universität, 1995.
26. Stark J. Alkali – Kieselsäure – Reaktion // Bauhaus Universität, Weimar, 2008. – P. 139.
27. Петрова Т.М., Сорвачова Ю.А. [Внутренняя коррозия бетона как фактор](#)

- снижения долговечности объектов транспортного строительства // Наука и транспорт. Транспортное строительство, 2012. – 4. – С. 56 – 60.
28. Смирнова О.М. [Морозостойкость высококачественных бетонов для подрельсовых конструкций](#) // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона, 2014. – 4. – С. 77 – 81.
29. Smirnova O. [Obtaining the high - performance concrete for railway sleepers in Russia](#) // Procedia Engineering, 2017. – 172. P. 1039 – 1043.
DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.158
30. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Ляху Л.В., Ганжела С.Ю. Експериментальні дослідження тріщиностійкості залізобетонних шпал з безпідкладковим пружним рейковим скріпленням // Зб. наук. праць УкрДУЗТ, Харків, 2020. – 192. – С. 11 – 23.
31. [Plugin A.A.](#), [Miroshnichenko S.V.](#), [Lobiak O.V.](#), [Kalinin O.A.](#), [Plugin D.A.](#) Crack resistance of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate // [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering](#), 2020. – 1002(1). – 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/1002/1/012010
32. Инструкция по применению и проектированию безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов / Санкт-Петербург, 2005.
33. Звіт з аналітичного огляду сучасних конструктивно-технологічних рішень прокладного шару безбалластного мостового полотна. Проведення експериментальних досліджень технології улаштування полімеркомпозиційного прокладного шару. – Харків, 2013.
34. K.Geissler, S.Marx. Railway Bridges. Stahlbau, 2010. – 79(3). – P. 157 - 158.
DOI: 10.1002/stab.201590016
35. Aflatooni, M., Chan, T.H.T., Thambiratnam, D., Thilakarathna, H.M.I.: Classification of railway bridges based on criticality and vulnerability factors. In: Rowbottam, R. (ed.) Proceedings of the Australian Structural Engineers Conference, Engineers Australia, Perth, WA, 2012. – P. 1 – 8.
36. Z.Dvorak, M.Luskova, D.Rehak, S.Slivkova. Criticality Assessment of Railway

- Bridges. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, 21, 2020.
P. 474 - 483. DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5_50
37. Bureika, G., Bekintis, G., Liudvinavičius, L., Vaičiūnas, G.: Applying analytic hierarchy process to assess traffic safety risk of railway infrastructure. *Maint. Reliab.* 2013. – 15(4). – P. 376 – 383.
38. Положение по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Союза ССР / МПС СССР. – Москва: Транспорт, 1991. – 29 с.
39. Дослідження причин виникнення тріщин у плитах безбаластового мостового полотна і розробка методичних рекомендацій із забезпечення їх тріщиностійкості: Звіт з НДР у 3-х чч. / УкрДАЗТ. – Харків, 2008. – г/д №6/12-2008.
40. ЦП 0148 Настанови із ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій мостів і труб, що експлуатуються / О.М.Пшінько, К.І.Солдатов, А.В.Краснюк та ін. – Київ: Швидкий Рух, 2006. – 280 с.
41. Страхова, Н.Є. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н.Є.Страхова, В.О.Голубєв, П.М.Ковальов, В.В.Годірка; під ред. А.І.Лантуха-Лященко. – Київ: ТАУ, 2002. – 408 с.
42. ЦБМЕС 0003 Інструкція про порядок огляду будівель і споруд на залізничному транспорті / ЦБМЕС Укрзалізниці. – Київ, 2004. – 47 с.
43. Шагин, А.Л. Реконструкция зданий и сооружений [Текст] / А.Л.Шагин, Ю.В.Бондаренко, Д.Ф.Гончаренко, В.Б.Гончаров; под. ред. А.Л.Шагина. – Москва: Высшая школа, 1991. – 352 с.
44. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна / УкрДАЗТ, 2010
45. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна / С.В.Мирошниченко, А.Н.Плугин, А.А.Плугин, И.Г.Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. збірник наук. праць. - Київ: ДП НДІБК, 2009. - Вип.72. - С.457-464.

46. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбалластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць / А.А.Плугін, О.А.Забіяка, Г.О.Линник // Зб.наук.праць УкрДАЗТ.- Харків: УкрДАЗТ, 2010.- Вип.115.- С.75-82.
47. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, Харків: УкрДАЗТ, 2009.- Вип.109.- С.113-119.
48. Відновлення експлуатаційного ресурсу та підвищення несучої здатності прогонових будов залізничних мостів/ Г.О.Линник// Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук// Дніпропетровськ, 2011.
49. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. Т.3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них [Текст] / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин [и др.]; под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наук. думка, 2012. – 288 с.
50. Развитие коллоидной химии и физико-химической механики для строительных материалов и конструкций / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Ал.А.Плугин // Зб.наук.праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип.125. – С. 108 – 139.
51. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбалластного мостового полотна залізничних мостів / А.А.Плугін, С.В. Мірошніченко, О.А.Забіяка, Г.О.Линник, А.І. Бабенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вип.109. - С. 120 - 130.
52. Плугин, А.Н. Структура и долговременные свойства бетона [Текст] / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошніченко // Строительные материалы и изделия, 2003. – №4(18). – С. 17 – 22.
53. Рунова, Р.Ф. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво: Монографія [Текст] / Р.Ф.Рунова, В.І.Гоц,

- І.І.Назаренко, В.Й.Сівко, П.С.Шилюк, В.Н.Старчук, В.І.Братчун, А.М.Плугін, А.М.Плугін, М.А.Саницький. – Київ: ЕксОб, 2008. – 360 с.
54. Звіт з дослідження причин виникнення тріщин у плитах безбаластного мостового полотна і розробка методичних рекомендацій із забезпечення їх тріщиностійкості. - Харків, 2008.
55. Экспериментальные исследования работы безбаластного мостового полотна на сборных железобетонных плитах /П.Ю.Этин, Г.П.Пастушков// Автомобильные дороги и мосты.- Минск: БелдорНИИ, 2010.- Вып. №2.- С.95-101.
56. Плугін, А.А. Понаднормативна довгочасна повзучість бетону в залізобетонній конструкції місткісної споруди [Текст] / А.А.Плугін, А.М.Плугін, С.М.Кудренко, Д.А.Плугін // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Зб.наук.праць ХарДАЗТ. – Харків, 2000. – Вип.37. – С. 32 – 44.
57. Рекомендації з улаштування полімеркомпозиційного прокладного шару під збірним та збірномонолітним залізобетонним без баластним мостовим полотном/ УкрДАЗТ, 2013.
58. Мірошніченко С.В. Динамічні випробування полімер- композиційного прокладного шару для плит безбаластного мостового полотна / С.В.Мірошніченко, Н.М.Партала // Зб.наук.праць УкрДУЗТ.- Харків: УкрДУЗТ, 2015.- Вип.155.- С. 103 - 111.
59. Мірошніченко С.В. Цементні та полімерцементні дрібнозернисті бетони для прокладного шару безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит / С.В.Мірошніченко, А.А. Плугін, О.А.Калінін, Н.М. Партала, С.Г. Нестеренко, В.В. Перестюк, А.В. Никитенко // Зб.наук. праць УкрДАЗТ.- Харків: УкрДАЗТ, 2014.- Вип. 148.- С. 39 – 45 (Index Copernicus).
60. Плугін А.М., Калінін О.А., Возненко С.І., Плугін А.А., Мірошніченко С.В. Відновлення експлуатаційних властивостей матеріалів і конструкцій. – Харків: ХарДАЗТ, 1999. – Ч.1. – 117 с.; Ч.2. – 86 с.

61. Плугін А.А., Трикоз Л.В. Відновлення експлуатаційних властивостей основ, фундаментів, заглиблених і підземних споруд. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 141 с.
62. Петренко В.И., Петренко В.Д., Тютюкин А.Л. Современные технологии строительства метрополитенов. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 252 с.
63. Сушкевич Ю.И., Бабушкин Н.Ф., Иванов В.Ф., Козин Е.Г., Расулов А.Р. Тоннели метрополитенов: Устройство, эксплуатация и ремонт. – Москва: Метро и тоннели, 2009. – 464 с.
64. Гончаренко Д.Ф., Коринько И.В. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений. – Харьков: Рубикон, 1999. – 368 с.
65. Алейнікова А.І., Волков В.М., Гончаренко Д.Ф., Зубко Г.Г., Старкова О.В. Методологічні основи подовження експлуатаційного ресурсу підземних інженерних мереж. – Харків: Раритети України, 2017. – 320 с.
66. Бондаренко Д.О., Булгаков В.В., Гармаш О.О., Гончаренко Д.Ф., Піліграм С.С. Каналізаційні тунелі Харкова: Quo vadis? – Харків, 2018. – 232 с.
67. Булатов А.И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин. – Москва: Недра, 1971. – 328 с.
68. Максимов А.П., Евтушенко В.В. Тампонаж горных пород. – Москва: Недра, 1978. – 180 с.
69. Кипко Э.Я., Полозов Ю.А., Лушникова О.Ю., Вяльцев М.М., Спичак Ю.Н., Свирский Ю.И. Тампонаж обводненных горных пород. – Москва: Недра, 1989. – 318 с.
70. Круглицкий Н.Н., Гранковский И.Г., Вагнер Г.Р., Детков В.П. Физико-химическая механика тампонажных растворов. – Київ: Наукова думка, 1974. – 289 с.
71. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Мирошниченко С.В., Возненко С.И., Шумик Д.В. Проницаемость гидроизоляционных составов при нагнетании в трещины скальных пород // Науковий вісник будівництва, 1999, Вип. 5, С. 31–37.

72. Плугін А.М., Калінін О.А., Плугін Арт.М., Шумик Д.В., Плугін А.А. Експериментальні дослідження проникної здатності тампонажних розчинів // Зб. наук. праць ХарДАЗТ, 2000, Вип. 37, С. 3–13.
73. Плугин А.Н., Плугин А.А., Шумик Д.В., Плугин Арт.Н., Калинин О.А., Мирошниченко С.В. Количественное описание реологических характеристик цементно-водных суспензий и механизма действия на них суперпластификаторов // Науковий вісник будівництва, 2001. – Вип. 12. – С. 173 – 189.
74. Плугин А.Н., Коринько И.В., Плугин А.А., Кирюшин В.Н., Донец А.В. Цементация межтрубного зазора при ремонте коллекторов водоотведения методом вставок // Науковий вісник будівництва, 2002. – Вип. 19. – С. 162 – 166.
75. Плугин А.Н., Герасименко О.С., Трикоз Л.В., Плугин А.А. Увеличение проникающей способности жидкого стекла в песчаный грунт // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2007. – Випуск 87. – С. 108 – 120.
76. Донец А.В., Плугин А.А., Титов Д.М. Применимость методов контроля качества строительных смесей для систем управления их приготовлением // Науковий вісник будівництва, 2002. Випуск 16. – С. 100 – 105.
77. Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів / УкрДАЗТ. – Харків, Київ: Укрзалізниця. Головне управління будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд, 2012. – 70 с.
78. Савйовский В.В., Болотских О.Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий.- Харьков: Ватерпас, 1999.- 288 с.
79. ДСТУ.Б.В.3.1.2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. - Київ: ДП УкрНДНЦ», 2017.
80. Проведення досліджень застосовності ін'єкційних полімерних матеріалів SPT™ для будівництва, реконструкції та утримання споруд залізничного транспорту.- Харків, 2017.

81. Відновлення експлуатаційних властивостей основ, фундаментів, заглиблених і підземних споруд/ А.А.Плугін, Л.В.Трикоз// Навчальний посібник: УкрДАЗТ, 2005.- 141 с.
82. Полицук В.П., Жуков Э.Н. Двадцатая станция Минского метрополитена / Метро и тоннели.- №4.- 2002.- С. 28 - 31.
83. Рекомендації з гідроізоляції тунелів метрополітену за допомогою цементних композицій / ХарДАЗТ. - Харків: Харківський метрополітен, 2001.- 12 с.
84. Інструкція щодо виконання робіт з нагнітання розчинів за обробку тунелів (ЦП-0136) / УкрДУЗТ. – Київ: ЦП УЗ, 2006. – 108 с.
85. Инструкция по применению композиции Монолит-3 / ООО Монолит-полимер.- Киев, 1995.- 15 с.
86. Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами / ТбилЗНИИЭП.- М.: Стройиздат, 1990.- 160 с.
87. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К. Будівельне матеріалознавство. - К: ТОВ УАВК «Екс Об», 2004. - 704с.
88. ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основа и фундаменты зданий и сооружений. Грунты. Классификация (ГОСТ 25100-95). – Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 51 с.
89. ДСТУ Б В.2.1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000) «Грунты. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків». - Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2002. – 16 с.
90. ДСТУ Б В.2.1 -17:2009 Грунты. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей [Текст]. - Київ, 2010. -23 с.
91. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – Москва: Стройиздат, 1986. – 414 с.
92. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) «Грунты. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості». – Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 107 с.
93. ДСТУ Б В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96) Основы та підвалини будинків і споруд. Грунты. Методи статистичної обробки результатів випробувань. - Київ:

- Науково-дослідний, проектно-вишукувальний та конструкторсько-технологічний інститут основ і підземних споруд імені Н. М. Герсеванова (НДІОСП), 2001. – 24 с.
94. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – Москва: Стройиздат, 1986. – 414 с.
95. ДСТУ Б В.2.1-6-2000 (ГОСТ 30672-99) «ґрунти. польові випробування. Загальні положення». - Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 12 с.
96. Драго Р. Физические методы в химии. Том 1. Пер. с англ. — Москва: Мир, 1981. — 422 с.
97. Бранд Дж., Эглинтон Г. Применение спектроскопии в органической химии / Пер. с англ. М.Ю.Корнилова, В.А.Чуйгука, под ред. Ю.Н.Шейнкера. - Москва: Мир, 1967. - С. 127-135.
98. ЦП – 0085 Правила визначення вантажопідйомності балкових залізобетонних прогонових будов залізничних мостів. Затверджено Наказом Укрзалізниці від 17.01.2002 р. № 8-Ц – Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003.
99. Chikhladze E.D. Stress-strained state of steel-concrete structures under force and temperature effect [Text] / Chikhladze E.D., Vatulya G.L. // Proceedings of the 5th International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering - Zilina, - 2011 - p. 181 - 184.
100. Vatulia G. Carrying capacity definition of steel-concrete beams with external reinforcement under the fire impact [Text] / G. Vatulia, E. Orel, M. Kovalov // Applied Mechanics and Materials – Vol. 617 (2014) – p.167-170. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.617.167.
101. ЦП – 0093 Інструкція з визначенням умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах. Затверджено Наказом Укрзалізниці №354-Ц від 10.06.2002 р – Київ, 2002 – 301 с.
102. Plugin A., Miroshnichenko S., Zabiya A., Linnik G. Increase of crack-

- stability of plates of without-ballast bridge bed of railway bridges [Text] / A. Plugin, S. Miroschnichenko, A. Zabiya, G Linnik // 7th International Conference on Bridges across the Danube 2010 - Sofia, Bulgaria: 2010. – P. 307 - 310.
103. Плуґін А.А., Мірошніченко С.В., Лобяк О.В., Забіяка О.А., Линник Г.О. Т.Шуба. Аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового полотна і прокладного шару під ними [Текст] / А.А.Плуґін, С.В.Мірошніченко, О.В. Лобяк, О.А.Забіяка, Г.О Линник, Т.Шуба // Зб.наук. праць УкрДАЗТ. - Харків: УкрДАЗТ, 2014. - Вип.148. – С. 104 - 110.
104. Нестерова Е.Ю. Исследование перегруппировка курциуса для азидов моно- и дикарбоновых кислот пиридинового ряда / Е.Ю.Нестерова, А.С.Пугачева, М.В.Воевудский // Вопросы химии и химической технологии.- Днепропетровск: ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», 2009. - №2. - С. 13 – 18.
105. Asefnejad A. Manufacturing of biodegradable polyurethane scaffolds based on polycaprolactone using a phase separation method: physical properties and in vitro assay / Azadeh Asefnejad, Mohammad Taghi Khorasani, Aliasghar Behnamghader, Babak Farsadzadeh, Shahin Bonakdar // International Journal of Nanomedicine. - Iran, Tehran, 2011, P. 2375 - 2384.
106. Баранова Н. В. Взаимосвязь химической структуры поверхности уретановых каучуков с поверхностными энергетическими и кислотно-основными характеристиками / Н. В. Баранова, Л. А. Пашина, А. В. Косточко // Харків, С. 127 – 131.

