

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Зверева Аліна Сергіївна



УДК 691.3 (043.3)

**ПОЛІМЕРМІНЕРАЛЬНІ КОМПОЗИТИ З РЕГУЛЬОВАНИМИ
ДЕФОРМАТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ ОСНОВ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

- кандидат технічних наук, доцент
Мірошніченко Сергій Валерійович,
Український державний університет
залізничного транспорту,
доцент кафедри будівельних матеріалів,
конструкцій та споруд

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор
Данченко Юлія Михайлівна,
Харківський національний університет
будівництва та архітектури,
завідувач кафедри загальної хімії

- кандидат технічних наук
Бсліченко Олена Анатоліївна,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
старший науковий співробітник
кафедри технології дорожньо-
будівельних матеріалів і хімії

Захист дисертації відбудеться «30» вересня 2021 року в 11⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7 та на сайті <http://kart.edu.ua>

Автореферат розісланий «28» серпня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 витоку 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 характеристиками» (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 дослідження – досягнення модуля деформації полімермінеральних композицій для основ залізобетонних транспортних споруд, який забезпечить мінімальні напруження в елементах конструкції.

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.

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

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

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.

Достовірність отриманих результатів забезпечена коректним застосуванням методів досліджень, визначенням характеристик матеріалів декількома різними стандартними та оригінальними методами, повторюваністю результа-

тів випробувань, їх статистичною обробкою, узгодженістю результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

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

Наукова новизна одержаних результатів

- вперше отримані 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;

- 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.

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, магістрантів, 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; обробка та побудова 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 дисертації. 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

вироби – 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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 проєктне положення плит і рівномірно передавати на балки постійні й тимчасові навантаження. Суттєвий внесок в удосконалення конструкції, технології улаштування та утримання БМП зробили А.М. Немзер, Д.І. Васильєв, П.В.Захарченко, Е.М.Долгий, Ю.О.Галаган, О.М.Гавриш та інші вважали, 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. Для їх запобігання А.Н.Орешкіним, J.Sadeghi, А.А.Ramezanipour запропоновано виготовляти плити та аналогічні конструкції із фібробетону, А.Malano, Y.Bae – із високофункціонального бетону, Г.О.Линником – омоноличувати плити в крупні панелі. А.М.Плугін, А.А.Плугін, С.В.Мірошніченко, О.А.Калінін, А.В.Никитинський, В.А.Лютій, О.А.Забіяка серед факторів, що спричиняють пошкодження, відзначали недосконалість конструкції і матеріалів прокладного шару, які обумовлюють нерівномірність його деформативних властивостей та, відповідно, розподілу напружень у плиті. Для запобігання тріщиноутворення пропонувалось застосовувати наливний проклад-

ний шар із епоксидно-кам'яновугільного композиту. Проте, незважаючи на очевидну зручність його улаштування він не знайшов застосування.

Виконано аналіз матеріалів, придатних для улаштування наливного прокладного шару. Вони мають характеризуватись високими розтічністю, 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 коштовними.

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.

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 (рис.1, а, б). Фізико-механічні характеристики полімермінеральних композитів (густину, 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 (рис.1).

Фізико-механічні та деформативні властивості ґрунту та ґрунтополімерного композиту визначали методом компресійного стиску на зразках ґрунту при-

родного залягання та композиту, отриманого ін'єктуванням двокомпонентного матеріалу SPT[®] в ґрунт. Деформативні властивості ґрунту та ґрунтополімерного 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 (табл. 1). Для статичних і динамічних випробувань використовували дві контрольні моделі з ґрунтом і три моделі ґрунтополімерного композиту.

а)



б)



Рис. 1 Дослідження розтікання суміші полімерцементного композиту в моделі зазору між плитою БМП і балкою мосту: а - модель зазору до встановлення плити; б - заливання суміші у зазор через отвір у плиті

Таблиця 1

Характеристики моделей ґрунтополімерного композиту

Модель-циліндр для випробувань	Висота, мм	Діаметр, мм	Об'єм, м ³	Кількість ін'єкторів	Глибина занурення ін'єктору	Кількість матеріалу SPT [®] , кг	
						кг	кг/л ґрунту
Статичних	425	570	0,108	1	300	3	0,028
Динамічних	600	400	0,075	2	250; 400	1,6	0,02

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 про-

грамного комплексу ПК ЛИРА-САПР 2018 Pro (Лицензия № 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 (рис. 2, а) складено із 38992 фізично нелінійних ізопараметричних об'ємних скінчених елементів SE №№ 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 (рис. 2, б). Прийнято, що прокладний шар опирається на абсолютно жорстку основу.

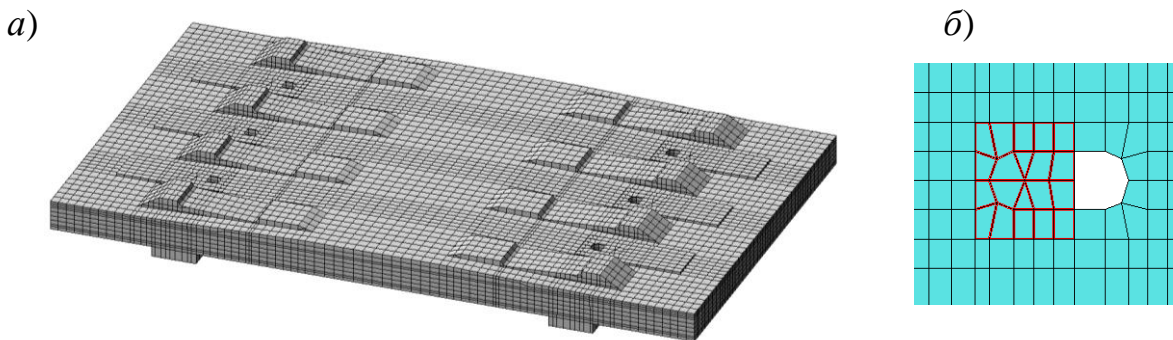


Рис. 2 Розрахункова схема плити БМП і прокладного шару: а – загальний вигляд; б – схема передавання навантаження від натягу шпильки

Експериментальна модель плити завантажувалась поетапно. На першому етапі враховано власну вагу конструкції і натяг шпильок, на другому – тимчасове навантаження від однієї осі рухомого складу 245 кН. На кожному етапі навантаження прикладали кроками по 20 % від повного значення. Розрахунки виконано шагово-ітераційним методом. Результати представлено у вигляді полів напружень і деформацій, найбільш наочні з яких наведено на рис. 3,4. За результатами розрахунків виявлено залежності напружень та деформацій в плиті та прокладному шарі від деформативності прокладного шару та сили затягування шпильки (рис. 5).

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).

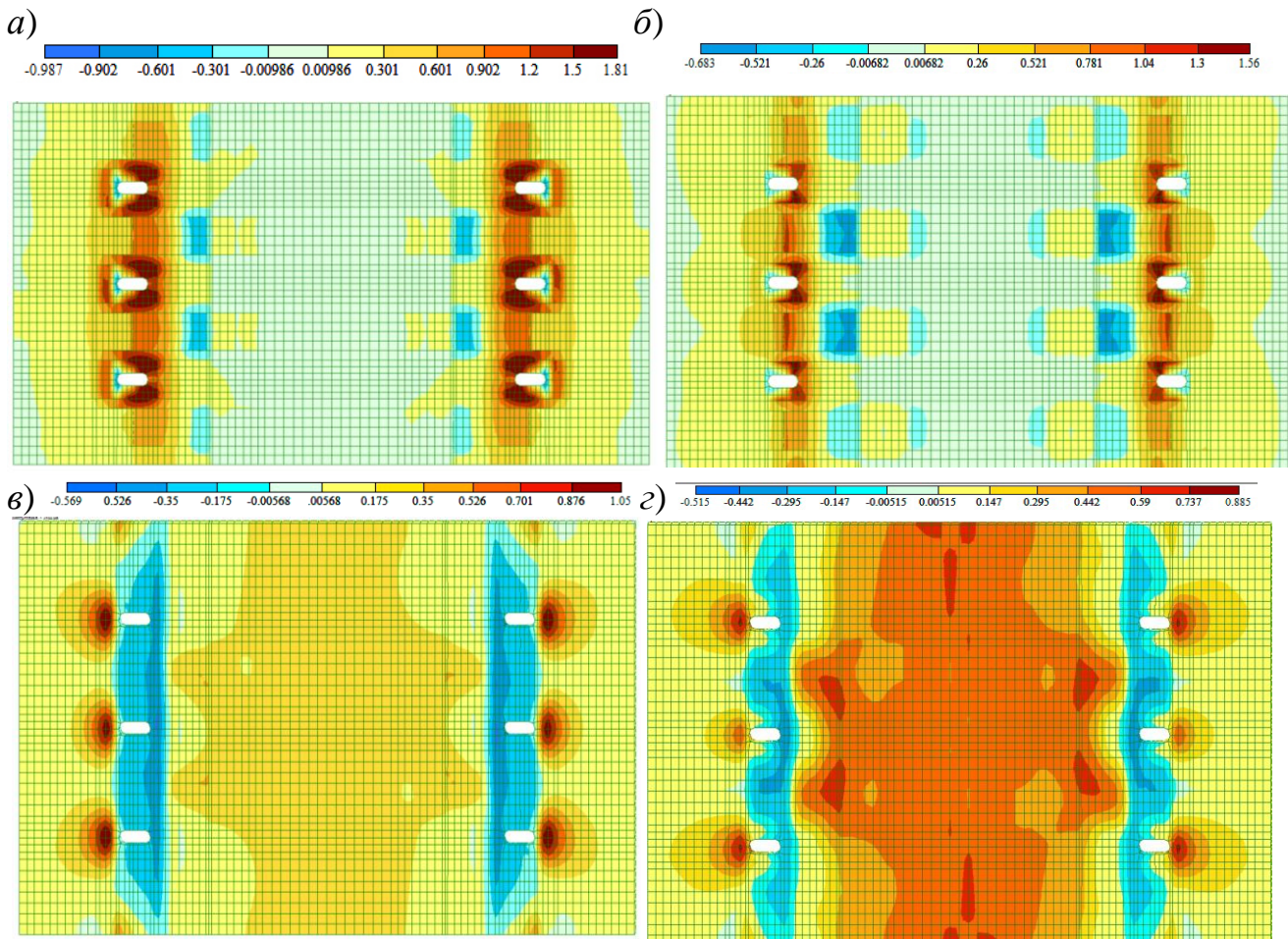


Рис. 3 Ізополя напружень стиску у верхній (а, б) і нижній (в, з) гранях плит БМП (МПа) для значень модуля деформацій прокладного шару і натягу шпильок, відповідно: 35000 МПа і 127,5 кН (а, в); 5000 МПа і 49 кН (б, з)

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.

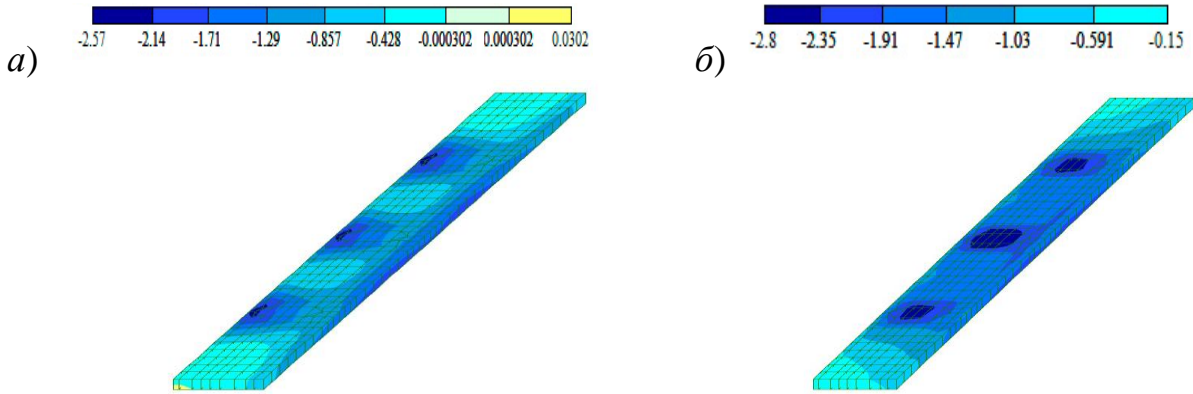


Рис. 4 Ізополя напружень стиску (МПа) у прокладному шарі для значень модуля деформації і натягу шпильок, відповідно: *a* – 35000 МПа і 127,5 кН; *б* – 5000 МПа і 49 кН

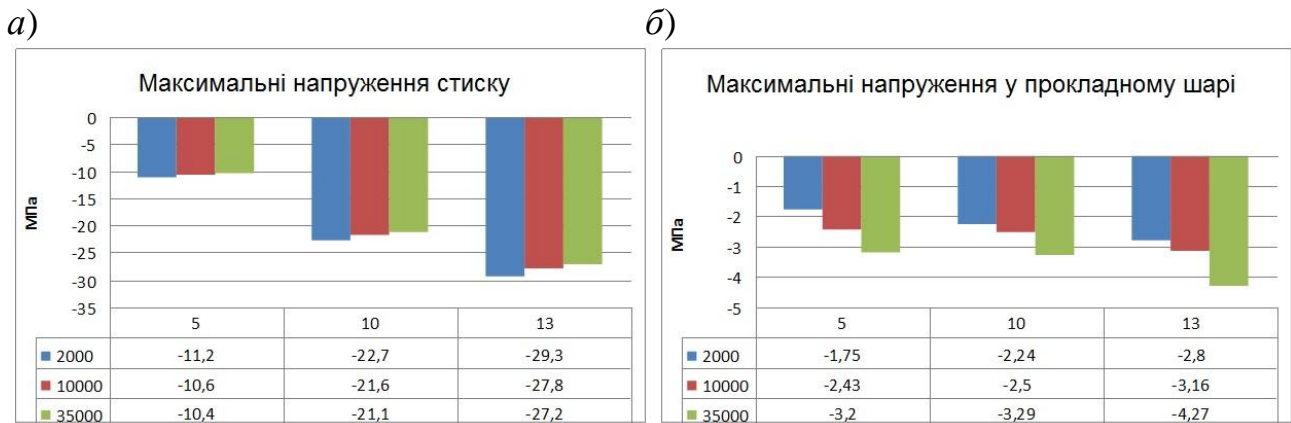


Рис. 5 Максимальні величини напружень в плиті БМП (*a*) і прокладному шарі (*б*) при модулі деформації прокладного шару 2000 МПа, 10000 МПа і 35000 МПа і натягу шпильок 49 кН, 98 кН і 127,5 кН

Виконано теоретичне обґрунтування забезпечення проникнення сумішей полімермінеральних композитів в технологічні зазори, зокрема, між плитою БМП і подовжньою балкою мосту, порожноти ґрунтів основ. Як модель, що відповідає обом випадкам, прийнято проникнення суміші в тріщинуваті скельні ґрунти під час ін'єктування (рис. 6).

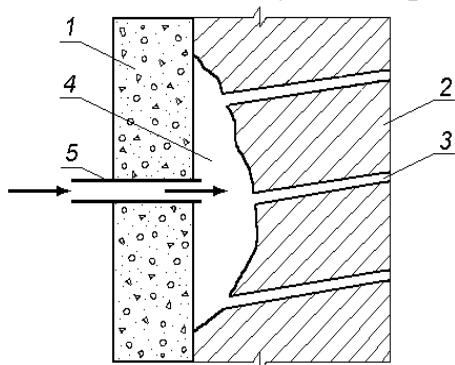


Рис. 6 Схема проникнення суміші полімермінеральної композиції у тріщинуватий скельний ґрунт: 1 – огорожувальна конструкція; 2 – скельний ґрунт; 3, 4 – тріщини та порожнини; 5 – ін'єктор

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 плоским капіляром шириною b_T , товщиною h_T ($b_T \gg h_T$). Площа поверхонь заповненої частини тріщини S_{Π} і поперечного перерізу тріщини S_T складуть:

$$S_{\Pi} = 2l \cdot (h_{\tau} + b_{\tau}) \approx 2b_{\tau}l; S_{\tau} = b_{\tau}h_{\tau}. \quad (1)$$

Суміш тече в капілярі під тиском ін'єктування P_i . Течії заважає природний тиск води в тріщині P_B і тиск P_T від сили тертя в тріщині F . Стаціонарний потік зі швидкістю v встановлюється за умови:

$$P_T = P_i - P_B, \quad (2)$$

Заповнення тріщини водою дозволяє зневажити ефектами, пов'язаними з утворенням меніску. Представимо рівняння закону в'язкості Ньютона у наведеному вигляді й знайдемо з нього силу тертя F_T :

$$\frac{F_T}{S_{\Pi}} = \eta \cdot \frac{v}{\delta}; F_T = \eta \cdot S_{\Pi} \cdot \frac{v}{\delta}, \quad (3)$$

де v/δ – поперечний напрямку течії градієнт її швидкості, 1/с; δ – товщина шару суміші, в якому швидкість течії змінюється від 0 до v , м.

Тиск від сили тертя складе:

$$P_T = \frac{F_T}{S_{\tau}} = \eta \cdot \frac{S_{\Pi}}{S_{\tau}} \cdot \frac{v}{\delta} = \eta \cdot \frac{2b_{\tau}l}{b_{\tau}h_{\tau}} \cdot \frac{v}{\delta} = \eta \frac{2lv}{h_{\tau}\delta}. \quad (4)$$

Підставивши (4) у (2) отримаємо:

$$P_i - P_B = \eta \frac{2lv}{h_{\tau}\delta}. \quad (5)$$

Під час ін'єктування потік Q та лінійна швидкість руху v суміші через тріщини дорівнюватимуть, відповідно:

$$Q = V_T/t, \text{ м}^3/\text{с}; v = \frac{Q}{S_{\tau}} = \frac{Qh_{\Pi}}{\gamma V_{\Pi}}, \quad (6)$$

де V_T – об'єм суміші, що ін'єктується у тріщини, які відкриваються у порожнину (рис. 5), м^3 ; t – тривалість опресування, с; $S_{\tau} = \gamma V_{\Pi}/h_{\Pi}$ – сумарна площа перерізу тріщин, які відкриваються у порожнину; γ – поверхнева тріщинуватість скельної породи, відн. од.; V_{Π} – об'єм порожнини, який визначається під час ін'єктування, м^3 ; h_{Π} – середня глибина порожнини, м.

Підставивши (6) у (5), отримаємо:

$$P_i - P_B = \frac{2\eta l Q h_{\Pi}}{h_{\tau} \delta \gamma V_{\Pi}} = \frac{2\eta l h_{\Pi} V_T}{h_{\tau} \delta \gamma V_{\Pi} t}. \quad (7)$$

Об'єм суміші, що прийняли тріщини, складе:

$$V_T = S_{\tau} l = \gamma \frac{V_{\Pi} l}{h_{\Pi}}. \quad (8)$$

Підставивши (8) у (7), отримаємо рівняння стаціонарного потоку суміші у тріщинах (зазорах):

$$P_i - P_B = \frac{2\eta l h_{\Pi}}{h_{\tau} \delta \gamma V_{\Pi} t} \times \gamma \frac{V_{\Pi} l}{h_{\Pi}} = \frac{2\eta l^2}{h_{\tau} \delta \cdot t}. \quad (9)$$

Рівняння (9) є моделлю, придатною для аналізу технологічних режимів ін'єктування. За (9) 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 роз-

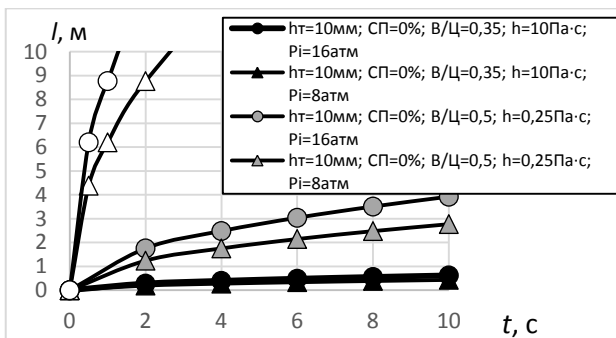
чину l тривалості опресування t від l та інших факторів, або глибини проникнення суміші l від її динамічної в'язкості:

$$l = \sqrt{\frac{(P_i - P_B) \cdot h_T \delta \cdot t}{2\eta}}; \quad t = \frac{2\eta l^2}{h_T \delta (P_i - P_B)}; \quad \eta = \frac{h_T \delta (P_i - P_B) t}{2l^2}. \quad (10)$$

За моделями (10) 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 (рис. 6, а); 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 (рис. 6, б). 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_B прийнято рівним 0.

Із рис. 6 видно, 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.

а)



б)

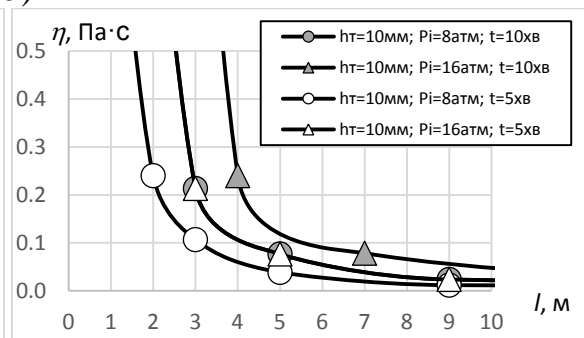


Рис. 7. Залежність глибини проникнення цементного розчину l від тривалості ін'єктування (опресування) t за різного вмісту добавки суперпластифікатора СП, водоцементного відношення В/Ц, в'язкості розчину η , тиску ін'єктування P_i у тріщини шириною розкриття: а – 10 мм; б – 0,1 мм

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

Із рис. 7 видно, що для проникнення суміші на глибину $l = 10$ м її динамічна в'язкість η не повинна перевищувати: у зазори і тріщини шириною розкриття $h_T = 10$ мм – 0,05 Па·с; $h_T = 1$ мм – 0,01 Па·с; $h_T = 0,1$ мм – 0,001 Па·с. Для проникнення на глибину $l = 2$ м динамічна в'язкість η не повинна перевищувати в залежності від тиску й тривалості ін'єктування: у тріщини $h_T = 10$ мм – 0,25–1 Па·с; $h_T = 1$ мм – 0,03–0,1 Па·с; $h_T = 0,1$ мм – 0,0025–0,01 Па·с. Отримані теоретичні залежності (рис. 7, 8) та висновки з них підтверджені експериментами з розтікання сумішей полімерцементної композиції в моделі зазору між плитою БМП і балкою мосту (рис. 1, а, б).

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 полімерцементного композиту для наливного прокладного шару безбаластного мостового полотна (табл.1). Деформативні характеристики композиту у порівнянні з характеристиками інших полімерцементних складів наведені у табл. 2, де матеріали наведені у порядку зменшення кількості мінеральної та збільшення полімерної складових, та на рис. 8. Із табл. 2 видно, що зі зменшенням вмісту мінеральної та збільшенням полімерної складових модуль деформації композиту знижується.

Таблиця 1

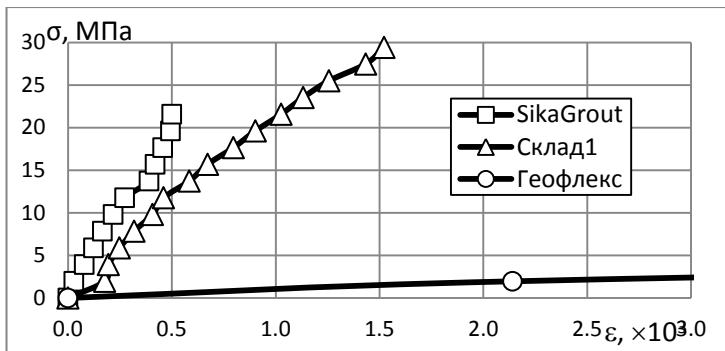
Полімерцементні композити для наливного прокладного шару БМП

Характеристика	Од. вимір.	Величина для складу композиту, №			
		1	2	3	4
Вміст:					
ПЦ І-500	мас. ч.	1	1	1	1
Вапнякове борошно	«		0,5		
Пісок, $M_k = 1,1$ (*2,6)	«	0,55	0,82	0,61	1,18*
Вода	«	0,285	0,427	0,372	0,34
СП-1	мас. % ПЦ	0,6	0,9		
БКХД	«			5	5
ХК	«	1	1,5		
ПВАЕ	«	1	1,5		
КМ	«	0,03	0,045		
Розтічність	см	25	17,5	13,5	17,5
Міцність на стиск:					
через 1 добу	МПа	12	6,8	10,6	7,4
через 28 діб	«	44,5	20,6	20,4	24,3

Таблиця 2

Деформативні властивості композитів для прокладного шару БМП

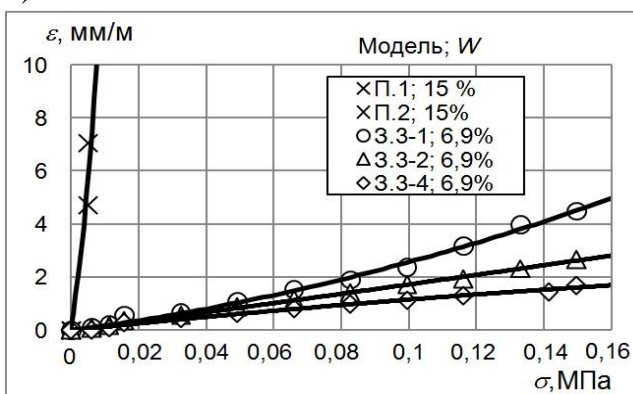
Композит	Густина, кг/м ³	Модуль деформації, МПа, у віці, діб:	
		1	7
SikaGrout-316	2220	10000	45000
Emaco Fast Fluid	2200	25000	25000
Sikadur-42 HE	2140	25000	25000
Склад 1	2000	9010	24565
Геофлекс+	1330	250	500

Рис. 8 Діаграми «напруження σ – відносна деформація ε » композитів SikaGrout-316, Складу 1 і Геофлекс+

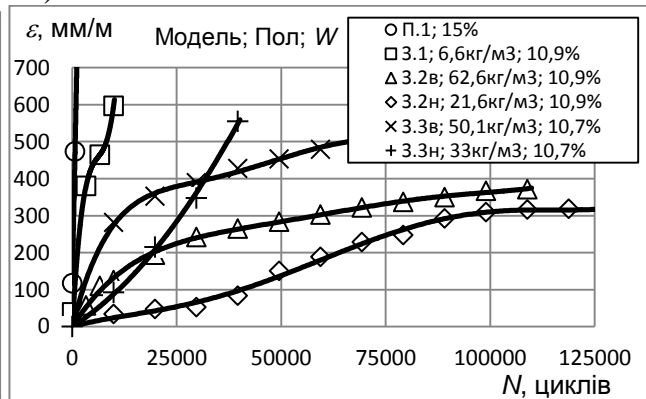
Виконано експериментальні дослідження фізико-механічних, у т.ч. деформативних, властивостей полімерґрунтових композитів. Результати дослідження наведено на рис. 9, із якого видно, що ґрунтополімерний композит зазнає набагато менших деформацій і має набагато більші величини модуля деформації, ніж природний ґрунт. За результатами випробувань отримано залежності модуля деформації E природного ґрунту та ґрунтополімерного композиту від вологості W (рис. 10, а), коефіцієнту підвищення модуля деформації в композиті у порівнянні з природним ґрунтом K_E від вологості W (рис. 10, б).

Із рис. 10 видно, що за сухого стану ґрунту (супіску) з вологістю, меншою 8,6 %, виготовлення композиту не збільшує модуля деформації (не знижує деформативності).

а)



б)

Рис. 9 Діаграми «напруження σ – відносна деформація ε » (а) та «кількість циклів навантаження N – відносна деформація ε » (б) природного ґрунту (П, воло-

гість 15 %) і ґрунтополімерного композиту (3.3, вологість 6,9, 10,9 %) за різного вмісту полімеру Пол, кг/м³ ґрунту

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 I_L дослідженого супіску дозволило зробити висновок, що K_E залежить від вологості W та I_L 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.

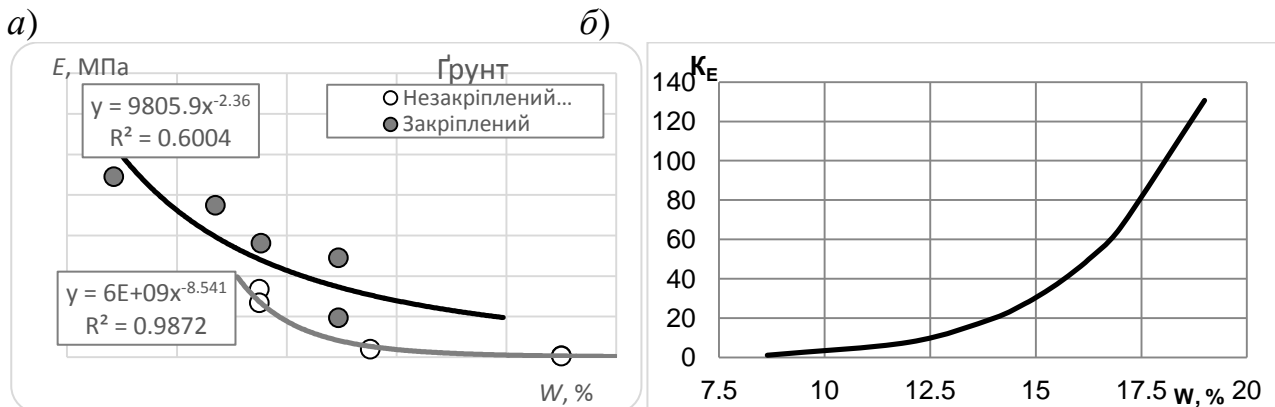


Рис. 10 Залежності від вологості: а - модуля деформації E природного ґрунту та ґрунтополімерного композиту; б - коефіцієнту підвищення модуля деформації в композиті у порівнянні з природним ґрунтом K_E

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 вивірювання 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.

На рис. 11 представлені ІЧ-спектри поглинання поліуретанового полімеру, глинистого ґрунту і ґрунтополімерного композиту. На спектрах ґрунтополімерного композиту в основному присутні смуги поглинання, характерні як для ґрунту, так і для полімеру. Спостерігається відсутність у спектрі композиту смуг $2200\text{--}2300\text{ cm}^{-1}$ 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 (рис. 12) 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.

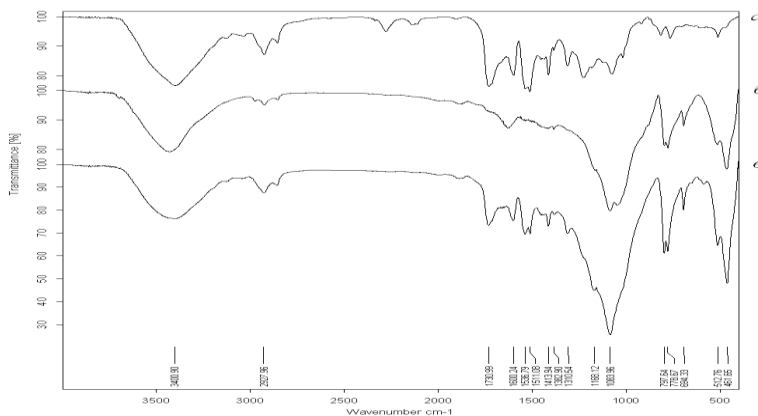


Рис.11 Інфрачервоні спектри поглинання:
a – полімеризованого ін'єкційного матеріалу (поліуретану);
б – глинистого ґрунту; *в* – ґрунтополімерного композиту



Рис. 12 Схема взаємодії поліуретану з поверхнею частинок ґрунту (на прикладі кремнезему)

У п'ятому розділі надано результати впровадження розроблених полімер-мінеральних композитів. Для улаштування прокладного шару під плитами МП із полімерцементного композиту складу 1 (табл. 1) запропоновано конструктивно-технологічне рішення, наведене на рис. 14. Воно полягає у заливанні суміші композиту через отвори для шпильок в плитах (рис. 1, б), 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 (рис. 1, а).

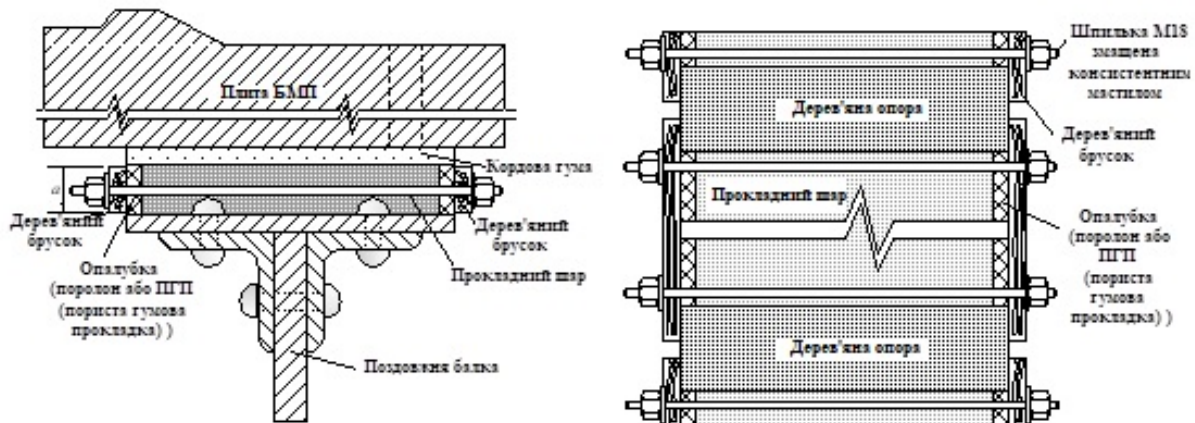


Рис. 13 Конструктивно-технологічне рішення улаштування наливного прокладного шару під плитами МП із полімерцементного композиту

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 виплеском 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, аспірантів спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 273 «Залізничний транспорт», під час виконання ними кваліфікаційних робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз матеріалів, придатних для основ залізобетонних транспортних споруд – безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит, залізобетонних водопропускних труб. Показано, що для прокладного шару безбаластного мостового полотна доцільним є застосування полімерцементних композитів, а для основ залізобетонних водопропускних труб - створення полімерґрунтових композитів.

2. Виконано аналіз напружено-деформованого стану залізобетонної плити безбаластного мостового полотна на прокладному шарі, отримано залежності напружень в плиті від модуля деформації прокладного шару та зусилля затягування шпильок прикріплення. Встановлено, що мінімальні величини напружень

і деформацій в найбільш пошкоджуваних місцях плити забезпечуються у разі модуля деформації прокладного шару понад 10 ГПа, а зусилля затягування шпильок не більше 100 кН.

3. Розроблено та досліджено реологічну модель суміші, отримано залежності глибини її проникнення 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.

4. 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.

5. 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.

6. Удосконалено технології улаштування прокладного шару безбаластного мостового полотна заливанням суміші полімерцементного композиту в технологічний зазор і створення полімерґрунтового композиту в основі залізобетонної водопропускної труби ін'єктуванням поліуретанового полімеру в ґрунт. Остання впроваджена під час капітального ремонту водопропускної труби на Одеській залізниці. Економічний ефект, що досягнуто за рахунок виконання ремонту замість повної перебудови труби, склав 2 млн. грн. Розроблено рекомендації з підвищення несучої здатності основ та гідроізоляції обробки штучних споруд. Результати дослідження впроваджено у навчальний процес УкрДУЗТ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України та у міжнародних періодичних виданнях, що включені до міжнародних 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 здобувача: 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 здобувача: 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 здобувача: 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 здобувача: участь в дослідженні статичних та динамічних випробуваннях моделей закріпленого та незакріпленого ґрунту та аналізі їх результатів.

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

Публікації апробаційного характеру:

6. Зверєва 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 вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості»*. Полтава, 2015, 50–52.

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

7. Мірошніченко С.В., Зверєва 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 здобувача: аналіз впливу хімічних добавок на склад прокладного шару плит БМП та вимог до його властивостей.

8. Мірошніченко С.В., Зверєва 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 здобувача: уточнення вимог до необхідної міцності прокладного шару на момент монтажу та експлуатації.

9. Мірошніченко С.В., Плугін Д.А., Калінін О.А., Зверєва А.С., Резніченко І.В. Ґрунтополімерна композиція на основі ін'єкційного поліуретану для підсилення основ споруд. *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конфе-*

ренції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків, 2017, 205–206.

Особистий внесок здобувача: 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 здобувача: аналітичний огляд літературних джерел.

Додаткові публікації:

11. Зверева 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 здобувача: 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., Зверева 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 здобувача: 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 здобувача: аналіз літератури, участь у обговоренні результатів дослідження.

14. Пługін А.А., Калінін О.А., Мірошніченко С.В., Зверева 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 здобувача: пошук та аналіз літературних джерел, участь в дослідженнях та обговоренні їх результатів.

АНОТАЦІЯ

Зверева Аліна Сергіївна. Полімермінеральні композити з регульованими деформативними властивостями для основ залізобетонних транспортних споруд.– Рукопис.

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 Міністерства освіти та науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена отриманню полімермінеральних композитів для основ залізобетонних транспортних споруд з деформативними властивостями, які забезпечать мінімальні напруження в конструкціях. Виконано аналіз матеріалів, придатних для основ залізобетонних транспортних споруд, а саме безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит, залізобетонних водопропускних труб. Досліджено напружено-деформований стан конструкції залізобетонної транспортної споруди, встановлено залежності напружень в конструкції від деформативних властивостей її основи, визначено границі модулів деформації, які забезпечать мінімальні напруження і деформації в конструкціях. Розроблено реологічну модель суміші композиту та обґрунтовано реологічні властивості, які забезпечать улаштування однорідної суцільної основи ін'єкційними методами та наливанням. Досліджено залежності модулів деформації та інших фізико-механічних властивостей полімермінеральних композитів від їх складу і технології отримання. Розроблено склад полімермінерального композиту для прокладного шару безбаластного мостового полотна, удосконалено технологію отримання полімерґрунтового композиту для основи залізобетонної водопропускної труби із заданими деформативними властивостями. Результати дослідження впроваджено під час капітального ремонту водопропускної труби, а також у рекомендаціях з підвищення несучої здатності основ і гідроізоляції залізобетонних транспортних споруд та у навчальному процесі.

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 dissertation is devoted to obtaining polymer-mineral composites for the foundation of reinforced concrete transport structures with deformative properties that will provide minimum stresses in structures. An analysis of materials suitable for the foundations of reinforced concrete transport structures has been carried out, namely ballastless bridge deck made of reinforced concrete slabs, and reinforced concrete culverts. The analysis of the stress-strain state of the structure of a reinforced concrete transport structure has been carried out, the dependences of the stresses in the structure on the deformative properties of its base have been determined, the boundaries of the deformation modules have been determined, which will ensure the minimum stresses and deformations in the structures. A rheological model of the composition of the composite has been developed and rheological properties have been substantiated, which will ensure the device of a homogeneous solid base by injection methods and filling. The dependences of the deformation modules and other physical and mechanical properties of polymer-mineral composites on their compositions and production technologies have been investigated. The composition of a polymer-mineral composite for the laying layer of the ballastless bridge deck has been developed; the technology of obtaining a polymer-soil composite for the base of

a reinforced concrete culvert with specified deformative properties has been improved. The results of the implementation studies have been completed during the overhaul of the culvert, also in the recommendations for increasing the bearing capacity of the foundations and waterproofing of reinforced concrete transport structures and in the educational process.

АННОТАЦИЯ

Зверева Алина Сергеевна. Полимерминеральные композиты с регулируемыми деформативными свойствами для оснований железобетонных транспортных сооружений. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 Строительные материалы и изделия (19 Архитектура и строительство). – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена получению полимерминеральных композитов для основания железобетонных транспортных сооружений с деформативными свойствами, которые обеспечат минимальные напряжения в конструкциях. Обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, приведена научная гипотеза, новизна и практическая значимость полученных результатов. Выполнен анализ условий эксплуатации некоторых железобетонных транспортных сооружений, которые часто испытывают преждевременных повреждений из-за недостатков их совместной работы с основами - безбалластного мостового полотна из железобетонных плит, железобетонных водопропускных труб. Выполнен анализ материалов, пригодных для оснований железобетонных транспортных сооружений, а именно безбалластного мостового полотна из железобетонных плит, железобетонных водопропускных труб. Было выполнено теоретическое обоснование физико-механических свойств, в т.ч. деформативности, полимерминерального композита для оснований железобетонных транспортных сооружений. Обоснование деформативных характеристик композита для прокладочного слоя БМП из железобетонных плит выполнено путем анализа их напряженно-деформированного состояния. Также были определены зависимости напряжений в конструкции от деформативных свойств ее основания, определены границы модулей деформации, которые обеспечат минимальные напряжения и деформации в конструкциях. Разработана реологическая модель состава композита и обоснованы реологические свойства, которые обеспечат устройство однородного сплошного основания инъекционными методами и наливом. Исследованы зависимости модулей деформации и других физико-механических свойств полимерминеральных композитов от их составов и технологий получения. Разработан состав полимерминерального композита для прокладочного слоя безбалластного мостового полотна, усовершенствована технология получения полимергрунтового композита для основания железобетонной водопропускной трубы с заданными деформативными свойствами. Результаты исследований внедрены во время капитального ремонта водопропускной трубы, а так же в рекомендациях по повышению несущей способности оснований и гидроизоляции железобетонных транспортных сооружений, и в учебном процессе.

Зверева Аліна Сергіївна

**ПОЛІМЕРМІНЕРАЛЬНІ КОМПОЗИТИ З РЕГУЛЬОВАНИМИ
ДЕФОРМАТИВНИМИ ВЛАСТИВОТЯМИ ДЛЯ ОСНОВ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск
Партала Н.М.

Підписано до друку 27.08.2021 р. Формат 60x90/16
Папір офсетний. Гарнітура Times ET. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замовлення 1/03

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні ФОП Ковальчук Н. П.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000150925 від 01.08.2013 р.
61003, м. Харків, пр. Московський, 10/12
<https://scanplus.com.ua/>