

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет залізничного транспорту

САВЧУК ВАЛЕНТИНА ЮРІЇВНА



УДК 624.138.23

**ГРУНТОВМІСНІ МАТЕРІАЛИ, МОДИФІКОВАНІ ВІДХОДАМИ
ВИРОБНИЦТВ, З ПІДВИЩЕНИМ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПОРОМ
ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СПОРУД**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Трикоз Людмила Вікторівна,
Український державний університет
залізничного транспорту, професор кафедри
будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Шпирько Микола Васильович,
Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури, завідувач кафедри
технології будівельних матеріалів, виробів та
конструкцій;

кандидат технічних наук, доцент
Казімагомедов Ібрагім Емірчубанович,
Харківський національний університет
будівництва та архітектури,
доцент кафедри будівельних
матеріалів і виробів.

Захист відбудеться 21 лютого 2019 року о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий «11» січня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Композиційні матеріали на основі ґрунтів можуть застосовуватися в усіх галузях будівництва. Найбільш перспективним є їх використання для улаштування основ під дорожні покриття, теплоізолюючих, морозозахисних, капіляронереривних шарів, для укріплення верхніх шарів земляного полотна залізниць, виробничих майданчиків тощо. При цьому використання ґрунтів, оброблених різними в'язучими, є тільки одним із можливих технічних рішень інженерних задач. Недоліком цих композицій є висока вартість, зумовлена високою витратою в'язучих – портландцементу, вапна та інших – для забезпечення необхідної міцності матеріалу, а також висока потреба в кондиційних мінеральних ґрунтах. З огляду на економічні міркування найбільше застосування в будівництві мають композиційні матеріали на основі ґрунтів, у яких основну частину становлять відходи з навіть слабо вираженими в'язучими властивостями. Відходи та побічні продукти займають великі території землі, виключаючи їх з корисного використання, спричиняють забруднення повітря, водойм, шкідливо впливають на рослинний і тваринний світ. Одним з таких відходів є надлишковий активний мул станцій біологічного очищення міських стічних вод, проблема утилізації якого є досить актуальною для великих міст. Такою ж актуальною є проблема утилізації шлакових відвалів навколо металургійних підприємств. Аналіз даних про будівельні властивості металургійних шлаків України й досвіду використання їх у промислових, дорожніх та інших будівельних об'єктах показав широкий діапазон можливостей застосування їх замість природних кам'яних і ґрунтових матеріалів.

При розробленні нових матеріалів необхідно враховувати умови, в яких вони будуть застосовуватися. Наприклад, умови експлуатації інженерних споруд електрифікованих залізниць мають відмінну рису: ймовірність впливу електричного струму додатково до інших факторів. При проходженні струму рейками частина його відгалужується в землю (струми витоку, блукаючі струми), використовуючи її як паралельний їм провідник. Дія цих струмів призводить до корозії арматури і бетону споруд, що зрештою спричиняє руйнування конструкцій. Отже, пошук шляхів підвищення електричного опору ґрунтовмісних матеріалів, поряд із забезпеченням їх фізико-механічних характеристик та утилізацією відходів, є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд у складі держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України: «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (2015-2017 рр., номер держреєстрації 0115U000276).

Як **наукову гіпотезу** прийнято можливість використання активного мулу станцій біологічного очищення міських стічних вод для активації шлаків у ґрунтовмісних матеріалах і, таким чином, отримання матеріалу на основі ґрунтів з високими показниками електричного опору і достатніми фізико-механічними характеристиками. Підвищення показників забезпечується за рахунок зниження іонної провідності в поровому просторі та утворення електрогетерогенних контактів між частинками композиційного матеріалу.

Мета дослідження – розроблення ґрунтовмісного будівельного матеріалу, який має підвищений електричний опір за достатніх фізико-механічних характеристик, на основі ґрунтів, металургійного шлаку та активного мулу для улаштування основ залізничних споруд.

Завдання дослідження:

– теоретично обґрунтувати можливість досягнення необхідного електричного опору за достатніх фізико-механічних характеристик матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків, активного мулу;

– експериментально підтвердити підвищення електричного опору при збереженні необхідної міцності за рахунок формування оптимальної структури ґрунтової композиції, забезпечення електрогетерогенних взаємодій адсорбцією іоногенних поверхнево-активних речовин, які входять до складу активного мулу;

– розробити склади композиційних матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків і активного мулу та провести фізико-механічні випробування отриманого композиційного матеріалу з поліпшеними електрофізичними та достатніми фізико-механічними характеристиками;

– провести фізико-хімічні дослідження структури і взаємодій компонентів затверділого ґрунтовмісного матеріалу;

– виконати дослідно-промислову перевірку результатів досліджень та впровадження розроблених складів матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу.

Об'єкт дослідження – закономірності формування структури ґрунтовмісного композиційного матеріалу та його властивості на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу.

Предмет дослідження – ґрунтовмісний композиційний матеріал з використанням металургійних шлаків та активного мулу для улаштування основ залізничних споруд.

Методи дослідження. Дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів (фізичні властивості ґрунтів, характеристики міцності і деформованості розроблених композицій) проводилися відповідно до стандартних методик і чинних нормативних документів. Електрофізичні характеристики ґрунтовмісних матеріалів досліджували за допомогою оригінальної авторської методики та лабораторної установки. Методами інфрачервоної спектроскопії, оптичної та електронної мікроскопії досліджувались процеси структуроутворення в розроблених матеріалах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому.

Уперше:

- встановлено, що активний мул станцій біологічного очищення може бути активатором твердіння як кислого, так і основного шлаків за рахунок амфотерності функціональних груп органічної складової активного мулу;

- розроблено композиційний матеріал на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу станцій біологічного очищення з підвищеним електричним опором.

Отримали подальший розвиток:

- уявлення про формування структури композиційного матеріалу на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу станцій біологічного очищення, який має властивості іоногенної поверхнево-активної речовини та утворює електрогетерогенні контакти з продуктами гідратації шлаків і ґрунтовими частинками;

- уявлення про закономірності зміни електричних властивостей багатокомпонентних систем, до яких належать ґрунтовмісні матеріали, за рахунок взаємодії функціональних груп органічної складової активного мулу з іонами порового розчину, що зменшує їх рухливість та призводить до зменшення іонної провідності матеріалу в цілому.

Достовірність та обґрунтованість результатів досліджень забезпечена використанням у теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, застосуванням в експериментах комплексу стандартних фізико-механічних та фізико-хімічних методів досліджень, методів статистичної обробки результатів досліджень, а також підтвердженням теоретичних і експериментальних досліджень експлуатаційними випробуваннями.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

- розроблено склад ґрунтовмісного матеріалу з використанням металургійних шлаків і активного мулу станцій біологічного очищення з підвищеним електричним опором при збереженні необхідної міцності;

- композиційний матеріал було використано для запобігання розповсюдженню струмів витоку та блукаючих струмів і захисту від електрокорозії споруд, а саме: для улаштування основи при реконструкції високої пасажирської платформи на ст. Золочів напрямку Харків–Готня на 196 км ПК2+97м; при улаштуванні інженерних мереж на ст. Харків-Пасажирський при реконструкції вантажного складу під музей історії і залізничної техніки Південної залізниці; для улаштування основи при реконструкції ПАТ «Харківський плитковий завод» з розширенням виробничих будівель під виробництво керамічної плитки;

- досягнутий загальний економічний ефект від упровадження розробленого складу за рахунок відмови від використання кондиційних високовитратних в'язучих (цементу, вапна), зниження витрат кондиційного ґрунту та відповідно зниження вартості будівництва, розширення сировинної бази для отримання матеріалу становить 295,7 тис. грн. При подальшій експлуатації об'єктів економічний ефект буде досягатися зниженням витрат на їх утримання та продовженням їх строків служби.

Особистий внесок здобувача. Вивчення проблеми і постановка завдання за тематикою дослідження, усі фізико-механічні та електрометричні випробування, обробка їх результатів і отримання експериментальних залежностей; формулювання наукової гіпотези і теоретичні обґрунтування (спільно з науковим керівником); фізико-хімічні дослідження, упровадження результатів досліджень (спільно із співавторами публікацій). Особистий внесок у спільні публікації відображено в переліку опублікованих робіт.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних наукових конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (м. Харків, 23–24 квітня 2014 р.); Всеукраїнська інтернет-конференція молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (м. Полтава, 25 листопада 2015 р.); 19 Internationale Baustofftagung (м. Веймар, Німеччина, 16–18 вересня 2015 р.); 2-nd International Conference on the

Chemistry of Construction Materials (м. Мюнхен, Німеччина, 10–12 жовтня 2016 р.); 5-та (23–24 квітня 2015 р.) та 6-та (19–21 квітня 2017 р.) міжнародні науково-технічні конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, УкрДУЗТ); 78-ма (26–27 квітня 2016 р.) та 80-та (24–26 квітня 2018 р.) міжнародні науково-технічні конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, УкрДУЗТ).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, з них 5 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, які входять до міжнародних наукометричних баз, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, що індексується в Scopus, 1 патент України на винахід, 8 праць апробаційного характеру, 1 – додаткова публікація.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг роботи – 186 сторінок, з яких – 125 основного тексту. Дисертація містить 50 рисунків і 12 таблиць. Список використаних джерел складається із 186 найменувань на 24 сторінках. П'ять додатків розміщено на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету, наукову гіпотезу, визначено коло наукових завдань, викладено основні положення, які мають наукову новизну та практичну цінність. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** виконано аналітичний огляд існуючого досвіду використання ґрунтів для виготовлення будівельних матеріалів, отримання на їх основі нових будівельних матеріалів з властивостями, придатними для їх використання в умовах впливу блукаючих струмів та струмів витоку. Викладено аналітичний огляд матеріалів для запобігання порушенню стійкості земляних споруд та ґрунтових масивів за критерієм корозієстійкості.

Питанням сумісності ґрунтів з різними модифікуючими речовинами на рівні мікроструктури та отримання нових матеріалів з високими міцнісними та експлуатаційними властивостями присвячено роботи відомих учених: Є. П. Буднікова, С. Д. Воронкевича, В. Д. Глуховського, Л. І. Дворкіна, Г. Н. Жинкіна, В. Ф. Калганова, В. П. Кожушка, В. П. Кривенка, Н. Н. Кругліцького, Ф. Д. Овчаренка, А. П. Платонова, М. Н. Першина, А. М. Плугіна, Р. Ф. Рунової, Б. А. Ржаніцина, А. Т. Соколовського, В. Є. Соколовича, В. С. Софронова, А. Н. Токіна, С. М. Толмачова та ін. Одержуваним будівельним матеріалам з використанням ґрунтів як їх компонентів давали різні назви: ґрунтосилікати, ґрунтоцементи, геополімери, ґрунтобетони та ін. Укріплений ґрунт є системою, в якій її складові частини – ґрунтові частинки і в'язучі речовини – зберігають свою хімічну індивідуальність, а процеси фізико-хімічної взаємодії відбуваються головним чином на межах розділу фаз, тому більш узагальнюючим терміном є «композиційні матеріали на основі ґрунтів». Для подальшого дослідження матеріал, що містить ґрунти як основний компонент, у роботі названо ґрунтовмісним матеріалом.

У літературних джерелах дуже широко подано методи поліпшення властивостей ґрунтів – від стабілізації та механічного ущільнення до бурозмішувальної або ін'єкційної технологій. Найбільш досліджено методи хімічного закріплення ґрунтів. Однак дослідження електрофізичних характеристик ґрунтовмісних матеріалів з метою запобігання розповсюдженню струмів витоку та виникненню електрокорозії майже відсутні. Огляд літературних джерел також показав відсутність готових рішень з удосконалення технології виготовлення будівельних матеріалів з використанням основного та кислого шлаків, а також розширення галузі їх застосування при ущільненні та стабілізації ґрунту. Застосування шлаків у будівельних матеріалах майже завжди вимагає використання лужного активатора, найчастіше цементу або вапна. Інших активаторів твердіння у літературних джерелах досліджено не достатньо. Також не запропоновано шляхів широкомасштабної утилізації надлишкового активного мулу станцій біологічного очищення міських стічних вод. Застосування активного мулу та шлаку може забезпечити достатню несучу здатність ґрунту, розширення сировинної бази для отримання ґрунтовмісних матеріалів з одночасним покращенням екологічної ситуації в містах, забезпечення можливості вторинного використання укріпленого ґрунту.

У розділі висунуто робочу гіпотезу про захист конструкцій від струмів витоку, які спричиняють їх електрокорозію, шляхом підвищення електричного опору ґрунтів. При цьому прийнято можливість використання активного мулу станцій біологічного очищення для активації шлаків у ґрунтовмісних матеріалах і, таким чином, отримання матеріалу на основі ґрунтів з більш високими показниками електричного опору з достатніми фізико-механічними характеристиками. Підвищення показників забезпечується за рахунок зниження іонної провідності в поровому просторі та утворення електрогетерогенних контактів між частинками композиційного матеріалу.

У **другому розділі** наведено характеристики матеріалів та методи досліджень, які було застосовано при виконанні роботи. Надлишковий активний мул – це продукт біологічного очищення міських стічних вод. Активний мул є комплексом мікроорганізмів колоїдного типу з адсорбованими і частково окисленими забруднювачами, вилученими із стічних вод у процесі біологічного очищення. Як складова частина ґрунтовмісних матеріалів у роботі використовувалися зневоднений активний мул із полів фільтрації. Для дослідження використовувався основний і кислий шлаки, властивості яких відповідали ДСТУ Б В.2.7-35.

Для проведення досліджень вивчалися ґрунти, які становлять основу будівельного майданчика, де планувалося впровадження результатів досліджень. Згідно з ДСТУ Б В.2.7-29 «Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація» досліджуваний ґрунт належить до пісків середньої групи за густиною, до дрібних за зерновим складом, з надвисоким вмістом пиловидних і глинистих частинок (далі «ґрунт»). Фізико-механічні дослідження зразків проведено за стандартними методиками: визначення показників консистенції ґрунту (вологості на границях розкочування і текучості) за ДСТУ Б В.2.1-2; оптимальної вологості за ДСТУ Б В.2.1-12; визначення деформаційних характеристик ґрунтів за ДСТУ Б В.2.1-4; визначення границі міцності при стиску за ДСТУ Б В.2.7-207; визначення границі міцності при стиску в насиченому водою стані за ДСТУ Б В.2.7-248.

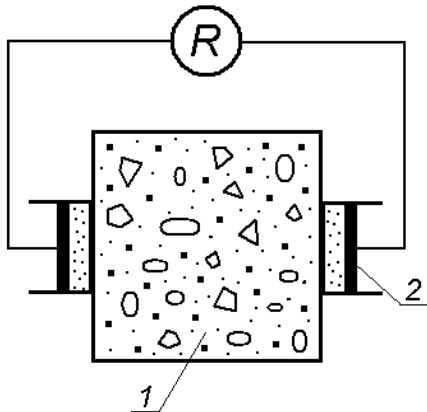


Рис. 1. Схема вимірювання електричного опору:
1 – зразок; 2 – електроди

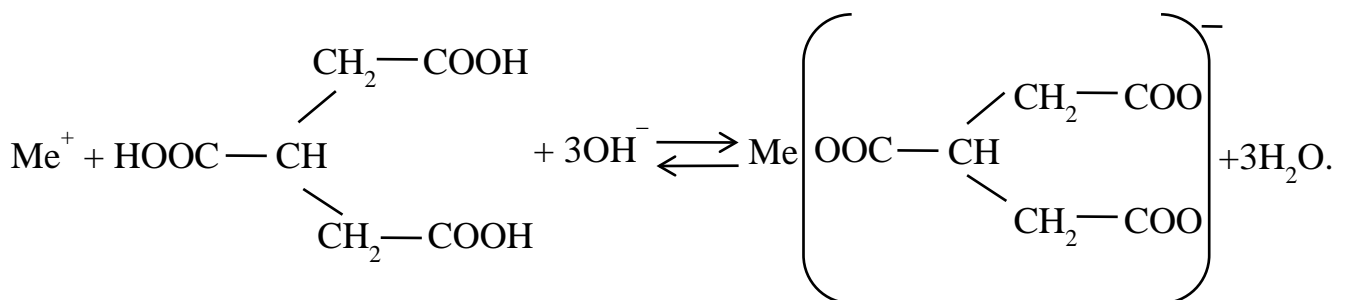
Для вимірювання електрофізичних характеристик ґрунтовмісних матеріалів застосовували пристрій, зображений на рис. 1. Питомий опір визначали безпосередньо розміщуючи вимірювальні електроди приладу в чарунку, заповнену досліджуваним ґрунтовмісним матеріалом. Виводи електродів підключали до вимірювального пристрою, який дає можливість отримувати значення електричного опору R , Ом.

Для фізико-хімічного дослідження було використано такі методи: оптична мікроскопія, інфрачервона спектроскопія, електронна мікроскопія.

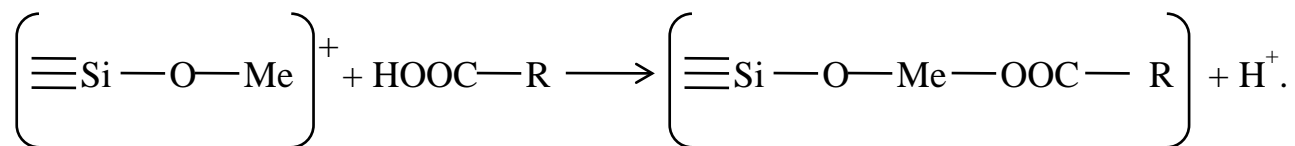
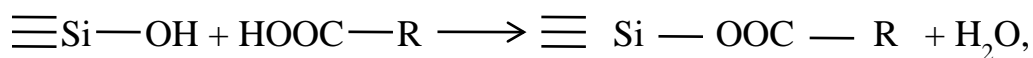
Інфрачервоні спектри поглинання отримували за допомогою інфрачервоного Фур'є-спектрометра Bruker Alpha. Оптична світлова мікроскопія застосовувалася для вивчення мезоструктури зразків розроблених ґрунтовмісних матеріалів. Дослідження проводилися за допомогою біноклярного мікроскопа МБС-2 у відбитому світлі при 87-кратному збільшенні. Фото отримували шляхом зйомки зображення в окуляр мікроскопа цифровим фотоапаратом з роздільною здатністю не менше 3 мегапікселів. Електронно-мікроскопічні дослідження проводилися для вивчення мікроструктури зразків розроблених ґрунтовмісних матеріалів за допомогою сканувального мікроскопа JEOL JSM-840 (Японія) з рентгенолокальним аналізатором.

У третьому розділі наведено теоретичне обґрунтування активації твердіння шлаків уведенням до ґрунтовмісних матеріалів активного мулу.

Активний мул очисних споруд стічних вод містить три складові: біологічну (мікроорганізми, найпростіші, водорості, гриби); органічну (нуклеїнові та амінокислоти, білки, полісахариди, гумусові кислоти та ін.); неорганічну (оксиди, фосфати, карбонати, силікати тощо), кожна з яких здатна зв'язувати іони металів доменного шлаку і ґрунтів. Вивчення хімічного складу мулів показало, що основними компонентами мулів є полі- й моносахариди – 26 %; амінокислоти й білковоподібні речовини – 28 %, ліпіди – 17 %, неорганічні сполуки – 28 %. Наявність в оксикислотах і амінокислотах двох і більше функціональних груп ($-OH$ і $-COOH$, $-NH_2$ і $-COOH$ тощо) сприяє зростанню їх комплексоутворюючих властивостей і взаємодії з гідроксильними групами, розташованими на поверхні частинок ґрунту з утворенням просторової системи



Взаємодія гумусових кислот із силікатами й алюмосилікатами можлива за рахунок зв'язку карбоксилу гумінових речовин з ОН-групами поверхні частинок ґрунту або шляхом утворення мінеральних містків, наприклад:



Амінокислоти є кращими комплексоутворювачами порівняно з оксикислотами, так як група $-\text{NH}_2$ є сильнішим донором електронної пари, ніж гідроксидна $-\text{OH}$. Участь в утворенні зв'язків між органічними речовинами з частинками доменного шлаку і ґрунту можуть брати азотовмісні групи органічних молекул. Значну роль в адсорбції органічних речовин силікатами, алюмосилікатами й оксидами відіграють водневі зв'язки. У їх утворенні беруть участь кисневі атоми або гідроксильні групи поверхні та гідроксильні або аміногрупи органічних молекул. Таким чином, у зв'язуванні мулом доменного шлаку з частинками ґрунту беруть участь: біологічна складова активного мулу, тобто мікроорганізми, які мають на своїй поверхні різні функціональні групи; органічна складова, в якій у зв'язуванні ґрунтового матеріалу основну роль відіграють білкові молекули і гуміноподібні речовини; мінеральні компоненти мулу, силікати й алюмосилікати.

Білки є амфотерними поверхнево-активними речовинами (ПАР) за рахунок здатності функціональних груп $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_3\text{OH}$ залежно від рН по різному дисоціювати й утворювати за низьких рН органічний катіон ($\text{R}-\text{COOH} \rightarrow \text{R}-\text{CO}^+ + \text{OH}^-$; $\text{R}-\text{NH}_3\text{OH} \rightarrow \text{R}-\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$), а за високих рН – аніон ($\text{R}-\text{COOH} \rightarrow \text{R}-\text{COO}^- + \text{H}^+$; $\text{R}-\text{NH}_3\text{OH} \rightarrow \text{R}-\text{NH}_3\text{O}^- + \text{H}^+$). За наявності шлаку, з якого в результаті гідратації виділяється вапно, білки та відповідно активний мул набувають властивостей аніонних ПАР і здатності адсорбуватись на позитивно заряджених поверхнях частинок вапна, карбонатних складових ґрунту. Це дає змогу застосувати активний мул як іоногенну поверхнево-активну речовину з метою утворення оптимальної структури ґрунтових матеріалів.

Глинисті мінерали мають велику вільну енергію і, відповідно до другого закону термодинаміки, вони будуть прагнути до рівноважного стану, що характеризується розділенням системи на дві фази, що мають мінімальні міжфазні поверхні і, отже, мінімальну вільну поверхневу енергію. Частилки активного мулу, адсорбуючись на дисперсній фазі і знижуючи тим самим величину вільної енергії, будуть сприяти стійкості системи. Додаток активного мулу в ґрунт знижує висоту капілярного підняття і сили капілярного тиску води за рахунок підвищення щільності, зменшення діаметра пор ґрунту і наявності поверхнево-активних речовин, що послаблюють сили поверхневого натягу. Ці речовини утворюють з частинками ґрунту гідрофобізовані міцели, які асоціюються одна з однією за рахунок поверхневої взаємодії й утворення іонних зв'язків. Електричні властивості поверхні створюють основу для забезпечення міцності системи "ґрунт-шлак-активний мул".

У табл. 1 наведено розраховані за методикою А. М. Плугіна електроповерхневі потенціали $\Delta\psi_{\text{эл}}^0$ речовин, що входять до складу ґрунтовмісних матеріалів.

Таблиця 1

Величини електроповерхневих потенціалів

Матеріал	Вміст оксидів у матеріалі, %								$\Delta\psi_{\text{эл}}^0$, В
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	Mn ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	
Шлак	11,89	15,56	28,77	0,4	2,1	0,44	0,5	0,34	+0,45
Ґрунт	6,56	18,29	55,16	2,9	4,25	3,22	6,37	3,25	-0,16
Активний мул	1,6÷11	7÷27	7÷35	1,5÷7	8÷17	0÷6	7÷20	0÷6	-0,23

Збереження міцності та водостійкості, зниження деформативності і набухання ґрунтів забезпечено за рахунок використання речовин з протилежними за знаком електроповерхневими потенціалами та утворення електрогетерогенних (між різноманітними зарядженими поверхнями частинок ґрунту, шлаку, активного мулу) контактів. Міцність контактів забезпечується іон-іонними та іон-дипольними взаємодіями між потенціалвизначальними іонами частинок ґрунту, шлаку, активного мулу і молекулами адсорбційних шарів води між ними. Такі контакти забезпечують найбільше підвищення міцності і водостійкості, зниження деформативності і набухання ґрунту (рис. 2). У звичайному стані частинки ґрунту утримуються в агрегатах, а агрегати між собою капілярними та молекулярними силами. Після уведення шлаку та активного мулу в результаті гідратації шлаку та неорганічної складової активного мулу утворюється деяка кількість гідроксиду кальцію, який формує з агрегатами частинок ґрунту і частинками активного мулу певну кількість електрогетерогенних контактів (рис. 3). Уведення аніонактивної ПАР сприяє також пептизації – руйнуванню агрегатів ґрунту та утворенню контактів між окремими частинками.

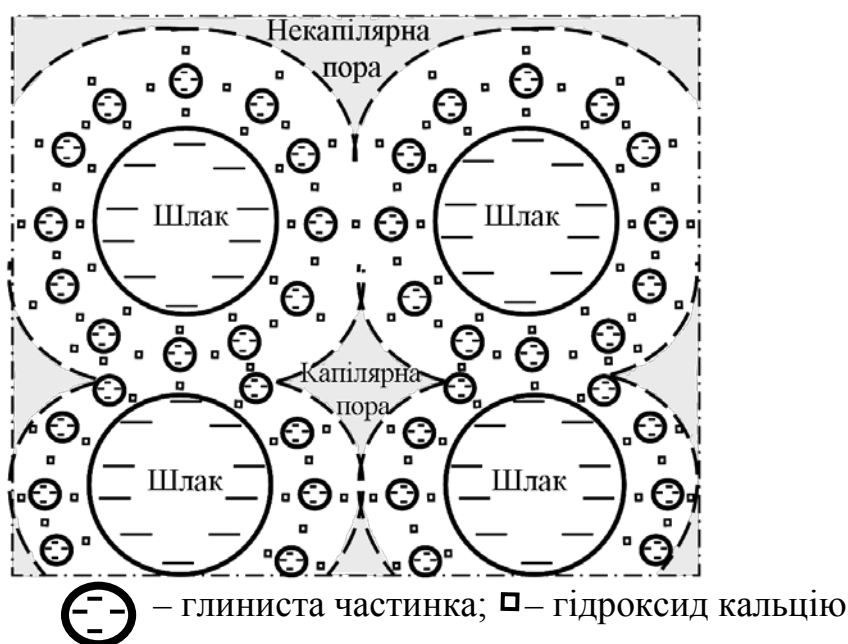


Рис. 2. Схема формування електрогетерогенних контактів у структурі ґрунтовмісних матеріалів (диполі води умовно не показано)

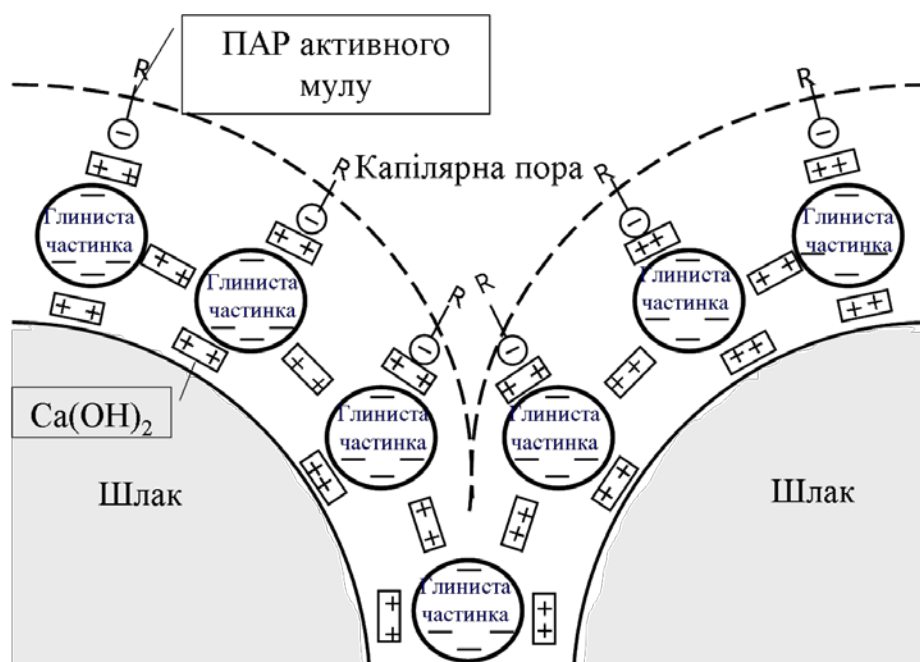


Рис. 3. Границя розділу між твердою фазою ґрунтовмісного матеріалу та капілярною порою (диполі води умовно не показано)

Кристали гідроксиду кальцію та колоїдні частинки активного мулу мають розмір на порядок менший, ніж у частинок шлаку. Отже, розміщуючись у поровому просторі між частинками шлаку, частинки гідроксиду кальцію та активного мулу формують оптимальну структуру ґрунтової композиції, ущільнюючи її та підвищуючи міцність. При цьому контакти між частинками різних розмірів забезпечуються у тому числі електрогетерогенними взаємодіями. Крім того, адсорбована ПАР утворює на гідрофільних мінеральних частинках гідрофобні оболонки, зменшуючи водопроникність та збільшуючи морозостійкість кінцевого ґрунтовмісного матеріалу.

Активний мул за певних умов (дисоціації карбоксильних груп і аміногруп білків з утворенням гідроксильних іонів) може бути лужним активатором твердіння шлаку. З часом міцність матеріалу збільшується, що є типовим для всіх шлаковмісних матеріалів. Вказані процеси і реакції перетворюють ґрунт, у результаті чого виникає ґрунтовий матеріал з новими будівельними властивостями. Додавання шлаку сприяє утворенню раціональної структури зразків з розміщенням менших за розмірами частинок у прошарках між більшими частинками.

Як зворотний провід для залізничного транспорту використовуються рейкові колії. Оскільки неможливо забезпечити їх абсолютну ізоляцію, то це створює передумови для стікання струмів у землю. У вологих умовах струм витікує з рейок проходить через конструкції верхньої будови колії (скріплення, залізобетонні шпали, баласт), а потім через тіло насипу розповсюджується далі ґрунтом до споруд. Струми протікають найкоротшим шляхом з найменшим опором – від подошви рейок через водонасичені під час дощу і сніготанення забруднені баласт і ґрунт основного майданчика земляного полотна та потім через найближчу до рейкової колії торцеву грань конструкції (рис. 4, а) або металеві труби інженерних мереж (рис. 5, а).

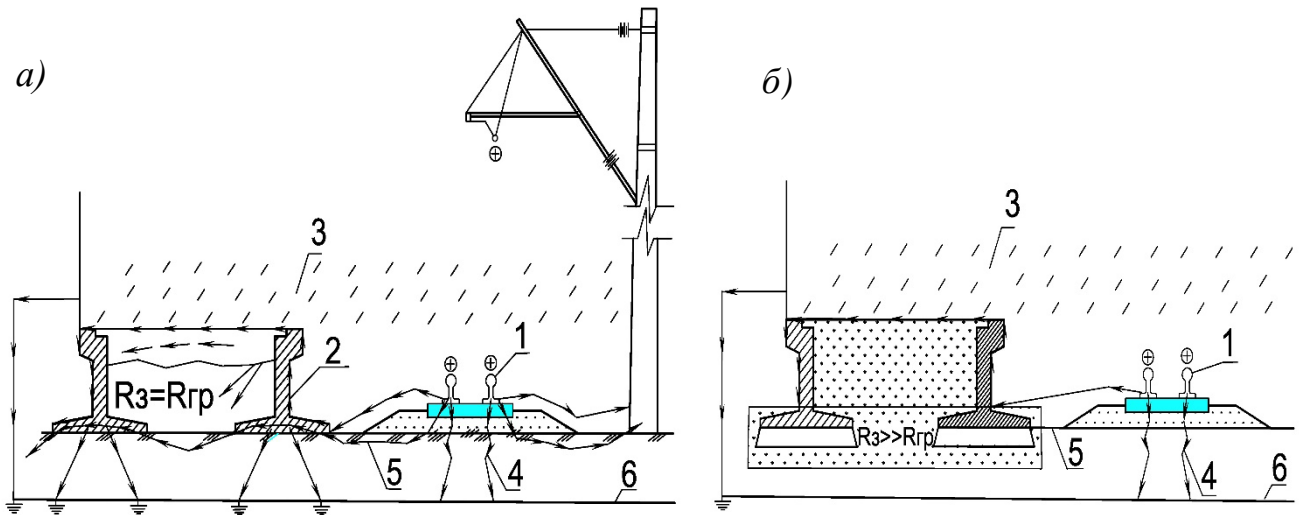


Рис. 4. Схема протікання струму витоку на ділянках з позитивним потенціалом на рейках через конструкції високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків і ригелів (а) та при наявності ділянок ґрунту з підвищеним електроопором (б): 1 – колія; 2 – платформа; 3 – атмосферні опади; 4 – блукаючий струм, що переважає в суху погоду; 5 – блукаючий струм, що переважає у вологу погоду; 6 – рівень ґрунтових вод; 7 – засипка з підвищеним електроопором

У результаті на електрифікованих постійним струмом залізницях найбільшого впливу електричної корозії зазнають фундаменти й опори контактної мережі, залізобетонні підрейкові основи, мостові конструкції, трубопроводи інженерних мереж. Результат впливу блукаючих струмів на залізобетон – корозія металевої арматури і бетону, що зумовлює утворення тріщин і надалі руйнування конструкції.

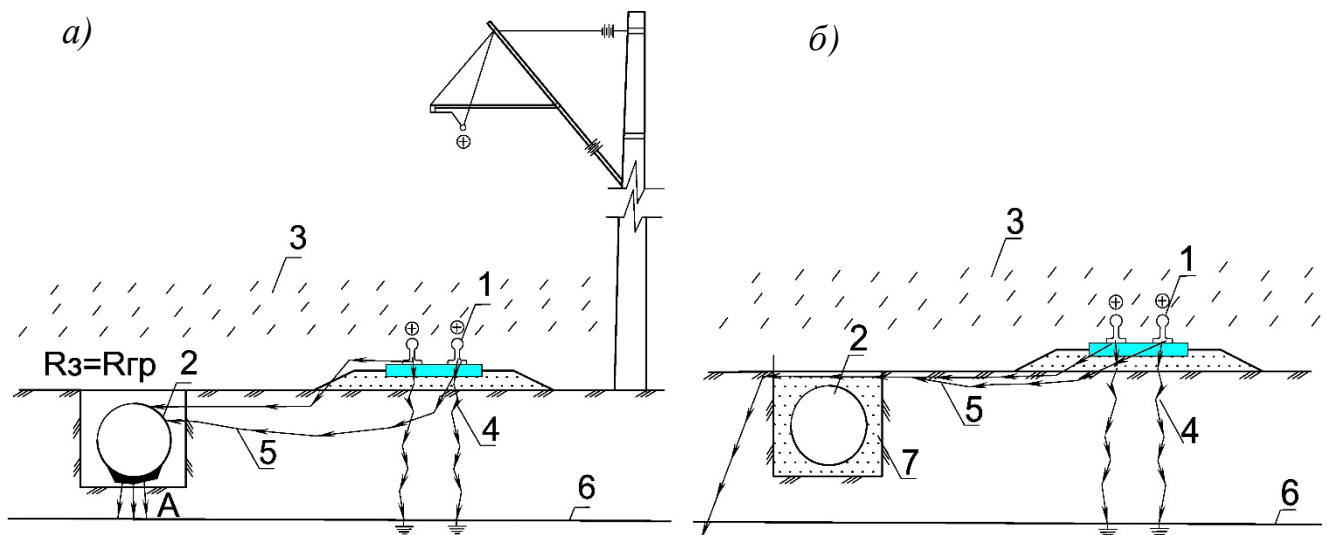


Рис. 5. Схема протікання струму витоку на ділянках з позитивним потенціалом на рейках через металеві трубопроводи інженерних мереж (а) та при наявності ділянок ґрунту з підвищеним електроопором (б): 1 – електрифікована колія; 2 – трубопровід; 3 – атмосферні опади; 4 – блукаючий струм, що переважає в суху погоду; 5 – блукаючий струм, що переважає у вологу погоду; 6 – рівень ґрунтових вод; 7 – засипка з підвищеним електроопором; А – анодна зона

Проведено натурні обстеження пасажирських платформ на 5 станціях на електрифікованих постійним та змінним струмом ділянках Південної залізниці. Після 15 років експлуатації в конструкціях платформ відмічались такі дефекти: пошкодження захисного шару бетону плит та опор; вертикальні тріщини та суттєві руйнування бетону на торцях опор; суттєві руйнування ригелів; ознаки вилуговування бетону опор.

Як бачимо зі схем, струми витоку оминають конструкції стояків і опор високих пасажирських платформ, металеві труби інженерних мереж, розтікаючись шляхом з найменшим опором поза місцем розташування конструкцій, які, таким чином, не зазнають руйнуючого впливу електрокорозії на метал або бетон споруди.

Четвертий розділ присвячено визначенню оптимальної кількості активного мулу, яку можна додати в ґрунт для його стабілізації і збереження міцнісних характеристик. Було досліджено залежності щільності та міцності ґрунтових матеріалів від вмісту в них активного мулу, кількість якого змінювалася від 5 до 100%. У результаті випробувань встановлено, що найбільшу величину як щільності ($2,2 \text{ кг/м}^3$), так і міцності (3,45 МПа) мають зразки із вмістом активного мулу 50%. Низька щільність і міцність зразків при відхиленні кількості активного мулу від 50% може бути пояснена з погляду утворення неоптимальної структури тверднучих систем. Для подальших досліджень було прийнято як оптимальне співвідношення ґрунт:активний мул (АМ) = 1:1.

Для визначення виду та кількості шлаку для підвищення міцності ґрунтовмісних матеріалів були виготовлені зразки із різним співвідношенням компонентів (табл. 2). У різні терміни (14, 28 та 90 діб) було визначено міцність на стиск.

Таблиця 2

Міцнісні характеристики ґрунтовмісних матеріалів

№ з/п	Склад композиційного матеріалу	Міцність, МПа, у віці		
		14 діб	28 діб	90 діб
1	Ґрунт + АМ (1:1) + основний шлак 5 %	0,5	0,875	1
2	Ґрунт + АМ (1:1) + основний шлак 10 %	1,65	1,825	1,975
3	Ґлина + АМ (1:1) + основний шлак 15 %	1,725	2,5	3,625
4	Ґлина + АМ (1:1) + основний шлак 25 %	1,125	1,25	2,125
5	Ґлина + АМ (1:1) + кислий шлак 5 %	1,25	1,75	1,825
6	Ґлина + АМ (1:1) + кислий шлак 10 %	1,3125	1,45	1,5
7	Ґлина + АМ (1:1) + кислий шлак 15 %	1,875	2,125	3,25
8	Ґлина + АМ (1:1) + кислий шлак 25 %	1,75	1,875	1,875

Установлено, що співвідношення компонентів у серіях № 3 та № 7 є оптимальним для досягнення найбільшої міцності композиції. Це зумовлено збільшенням кількості коагуляційних контактів в одиниці об'єму ґрунту і збільшенням його щільності за рахунок більшого зближення високодисперсних частинок. Відхилення співвідношення в більший або менший бік призводить до зменшення міцності. Це пояснюється утворенням неоптимальної структури матеріалу.

Для вивчення напружено-деформованого стану ґрунту в складних умовах, у яких і перебуває ґрунт основ реальних будівель і споруд, як деформаційну характеристику застосовували модуль загальної деформації E_0 . Ґрунт не є пружним

середовищем, і залишкові деформації значно перевищують пружні. Параметр E_0 враховує і пружні деформації й залишкові за умови, що ґрунт сприймає лише одноразову завантаженість стискаючим навантаженням. Ці характеристики визначали за результатами випробувань зразків ґрунту в компресійних приладах (одометрах), які виключають можливість бічного розширення зразка ґрунту при вертикальному навантаженні. У лабораторних умовах було досліджено залежність зміни коефіцієнта пористості ґрунту від вмісту в ньому активного мулу, який змінювався від 15 до 50 %. Із суміші ґрунту, води й активного мулу були виготовлені зразки, які після витримування в нормальних умовах протягом 7 діб були розміщені в одометрі. Індикатором годинникового типу для кожного ступеня навантаження вимірювали деформації зразків та обчислювали абсолютну вертикальну стабілізовану деформацію зразка ґрунту Δh , мм, як середньоарифметичне показань вимірювального приладу після віднімання поправки на деформацію компресійного приладу. Відносну вертикальну деформацію зразка ґрунту розраховували за формулою

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{h}, \quad (1)$$

де h – початкова висота зразка, мм.

Обчислювали коефіцієнти пористості e_i ґрунту при різних тисках за формулою

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i \cdot (1 + e_0), \quad (2)$$

де e_0 – початковий коефіцієнт пористості.

Коефіцієнт стисливості m_o , МПа⁻¹, у заданому інтервалі тисків p_i і p_{i+1} обчислювали за формулою

$$m_o = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i}, \quad (3)$$

де e_i і e_{i+1} – коефіцієнти пористості, які відповідають тискам p_i і p_{i+1} .

Модуль деформації E_0 , МПа, в інтервалі тисків p_i і p_{i+1} обчислювали за формулою

$$E = \frac{1 + e_0}{m_o} \beta, \quad (4)$$

де β – коефіцієнт, який враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі.

Для визначення деформативних характеристик ґрунтовмісних матеріалів у підготовлену суміш ґрунту та активного мулу додавали різну кількість шлаку і випробовували в одометрах з подальшим визначенням модуля деформації за формулою (4). У лабораторних умовах було досліджено залежність зміни коефіцієнта пористості ґрунту від вмісту в ньому шлаку, який змінювався від 15 до 50 %. За результатами вимірювань та обчислень за формулою (2) побудовано графіки залежності коефіцієнта пористості від тиску для зразків, які містять різну кількість активного мулу (рис. 6, а) та шлаку (рис. 6, б). У табл. 3 наведено дані розрахунків коефіцієнта стисливості та модуля деформації за формулами (4)-(5).

Як свідчать наведені дані, додавання активного мулу у кількості 50% зменшує коефіцієнт стисливості зразків у 2,4 разу порівняно з ґрунтом без наповнювачів. Порівняно із зразками, які містять 50% активного мулу, зразки із додаванням 50% шлаку зменшують стисливість у 1,7 разу.

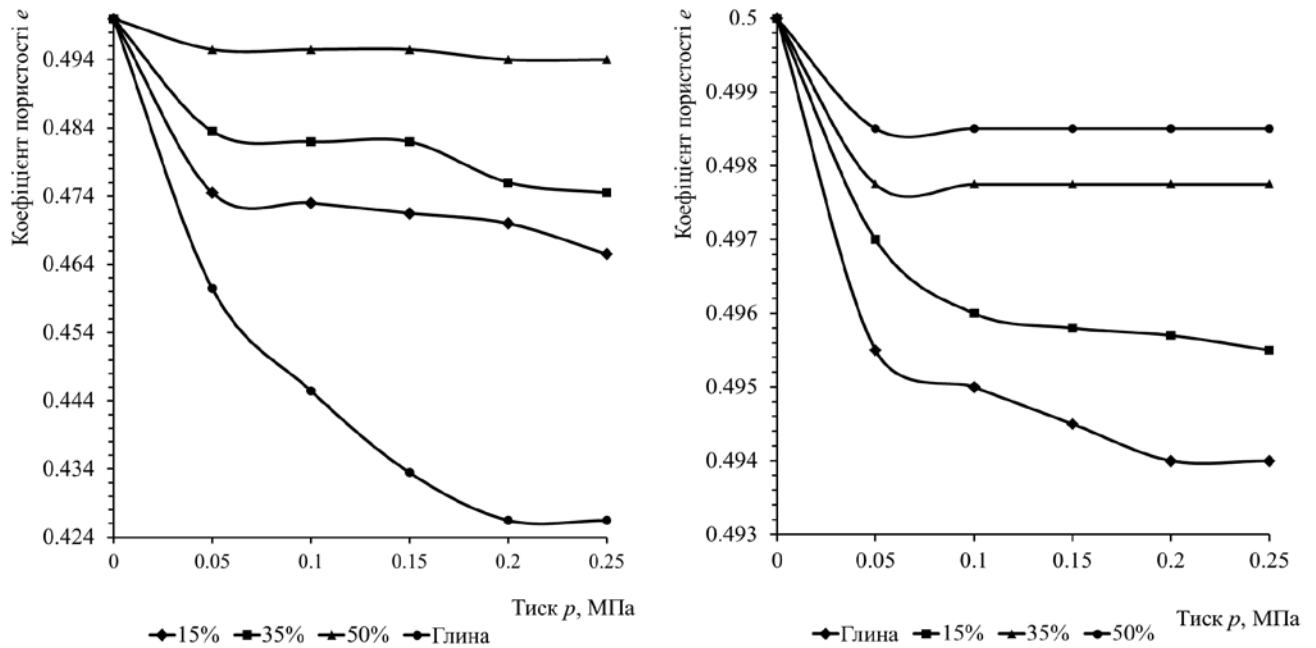


Рис. 6. Залежність коефіцієнтів пористості ґрунтовмісних матеріалів від кількості активного мулу (а) та шлаку (б)

Таблиця 3

Значення деформативних характеристик зразків композиційного матеріалу

Склад зразків композиційного матеріалу	Коефіцієнт стисливості m_0 , МПа ⁻¹	Модуль деформації E_0 , МПа
Глина 100 %	0,12	7,8
Глина 50 % + активний мул 15 %	0,1	10,7
Глина 65 % + активний мул 35 %	0,07	15,5
Глина 85 % + активний мул 50 %	0,05	20,3
Глина : активний мул : шлак (1:1:0,15)	0,06	31,3
Глина : активний мул : шлак (1:1:0,35)	0,045	43,2
Глина : активний мул : шлак (1:1:0,50)	0,03	52,7

Додавання в ґрунт активного мулу дає змогу збільшити модуль деформації із 7,8 МПа до 20,3 МПа, шлак підвищує цю величину до 52,7 МПа. Більший модуль деформації свідчить про меншу величину осідання основи будівель або споруд після їх зведення. Це дає змогу отримати технічний результат, виражений у збереженні міцності композиційного матеріалу на стиск без використання кондиційних високовитратних в'язучих (цементу, вапна), зниженні витрат кондиційного ґрунту та відповідно зниженні вартості закріплення, розширенні сировинної бази для отримання матеріалу, можливості вторинного використання укріпленого ґрунту без його вивезення та утилізації.

Дослідження електрофізичних властивостей ґрунтовмісних матеріалів проводилися з метою визначення оптимальної кількості активного мулу, при додаванні у ґрунт якої спостерігається збільшення питомого опору з урахуванням кореляційних зв'язків між електричними та іншими властивостями (щільністю, пористістю). Принцип збільшення питомого опору ґрунту за рахунок додавання до нього активного мулу полягає в зменшенні рухливості катіонів при іонному механізмі електропровідності. За результатами вимірювань побудовано графіки залежності питомого електричного опору ґрунту від кількості активного мулу та вапна (рис. 7).

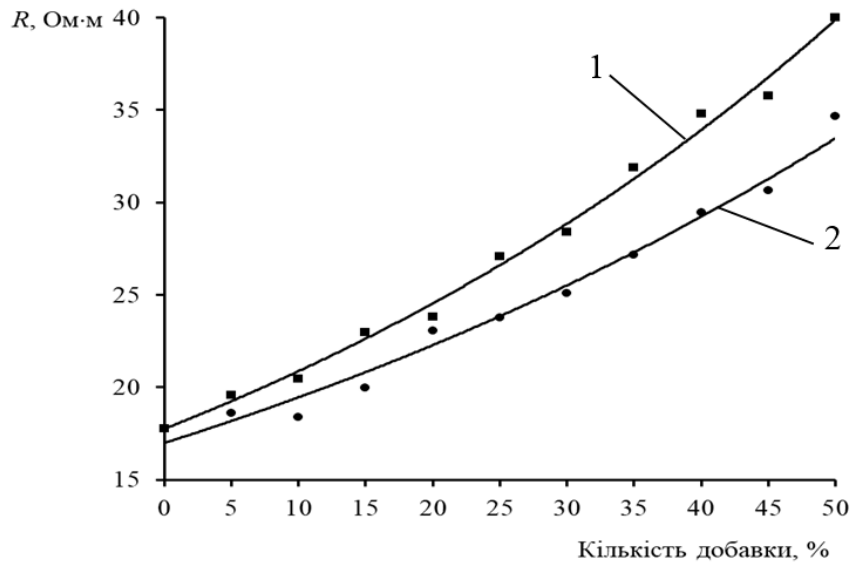


Рис. 7. Залежність питомого опору від кількості вапна (1) та активного мулу (2)

Для виявлення загальних закономірностей зміни електричних властивостей багатокомпонентних систем, до яких належать ґрунти, було досліджено вплив виду шлаку на питому електропровідність ґрунтовмісних матеріалів. Як показали результати вимірювань зразків ґрунту з шлаком, залежності питомого опору для кислого й основного шлаків дещо відрізняються (рис. 8).

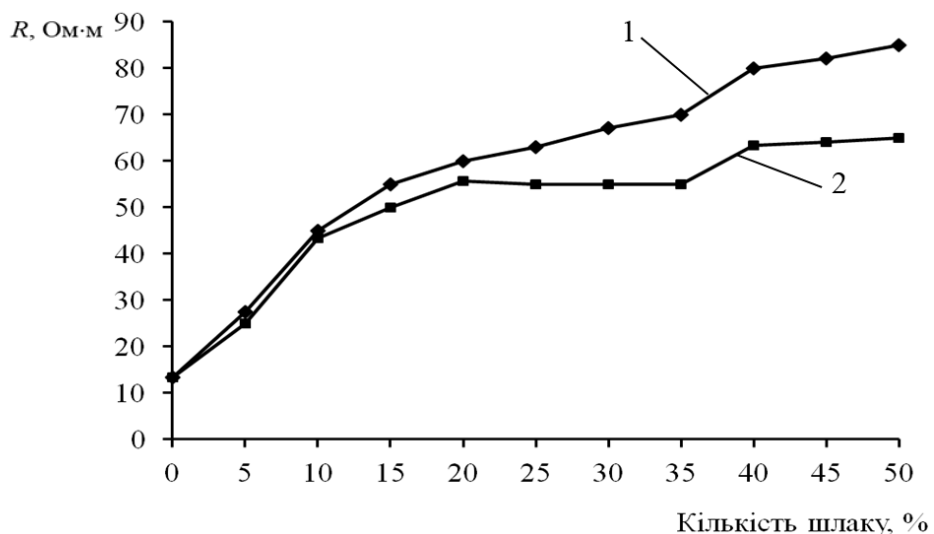


Рис. 8. Залежність питомого опору від кількості основного (1) та кислого (2) шлаків

Для кислого шлаку зі збільшенням його кількості величина питомого опору ґрунту зростає повільніше, ніж для основного. Оскільки для виготовлення зразків використовувалися шлаки однакового гранулометричного складу, такі залежності не можуть бути пояснені зміною щільності ґрунту. Отже, на величину питомої провідності вплинули фізико-хімічні процеси, що відбуваються при взаємодії ґрунту і шлаків. Шлаки активно реагують з компонентами активного мулу із зміною величини показника рН і виходом у розчин деяких шлакоутворюючих елементів. Процес гідролізу продовжується до утворення на поверхні шлакових зерен плівки вторинних мінералів, найважливішими серед яких є гідроксиди і гідросилікати кальцію.

Утворення тонкодисперсних цементуючих новоутворень, що підвищують зчеплення у тверднучій системі, приводить до зменшення концентрації електроліту в порах і, як результат, – до зниження електропровідності. Здатність органічної складової активного мулу до комплексоутворення з катіонами металів знижує іонну провідність порового розчину та сприяє підвищенню електроопору ґрунтовмісного матеріалу в цілому. Сульфатна активація відбувається за наявності глинозему і не настільки ефективна у зв'язуванні вільних іонів, що демонструє крива 2 на рис. 8.

Для підтвердження механізму взаємодії функціональних груп активного мулу з поверхневими іонами шлаку і ґрунту було досліджено інфрачервоні спектри зразків композиційних матеріалів. Вид смуг поглинання переважно однаковий, проте вони відрізняються інтенсивністю, що означає виникнення подібних продуктів взаємодії ґрунту, шлаку та активного мулу, хоча і в різних співвідношеннях. Наявність смуг 469 і 470 см^{-1} , що належать до деформаційних коливань Al–O, свідчить про лужну активацію шлаків, більш виражену для основного шлаку. Поява смуг 779 і 693 см^{-1} , яких немає у вихідному шлаку, спричинено в цьому типі структур лужною активацією. Взаємодія з двовалентними іонами металів, що входять до складу активного мулу і шлаку, підтверджується переміщенням смуг до більш низьких частот у результаті зростання середньої відстані Me–O та іонного характеру зв'язку. Смуги активного мулу, характерні для різного виду зв'язків C–O, C–O–H, C–C, C–H, зникають у спектрах кінцевих матеріалів, що свідчить про адсорбцію органічної складової активного мулу та її взаємодію з поверхневими іонами частинок ґрунту і шлаку.

За мету досліджень методами оптичної та електронної мікроскопії було прийнято з'ясування відмінностей у структурі розроблених композиційних матеріалів. Як свідчать результати досліджень, спостерігаються відмінності в структурі вихідних та кінцевих матеріалів. При додаванні до ґрунту активного мулу та кислого або основного шлаків структура стає більш упорядкованою, з чіткими структуроутворюючими елементами та з матрицею навколо них. Додавання активного мулу сприяє утворенню щільної структури з наявними продуктами новоутворень гідратації шлаків (рис. 9, б). Це підтверджує гіпотезу, що активний мул може бути активатором твердіння як основного, так і кислого шлаку.

Порівняння мезо- та мікроструктури зразків ґрунтовмісних матеріалів методами оптичної та електронної мікроскопії підтвердили формування більш щільної структури у випадку застосування активного мулу та шлаків як модифікуючої добавки.

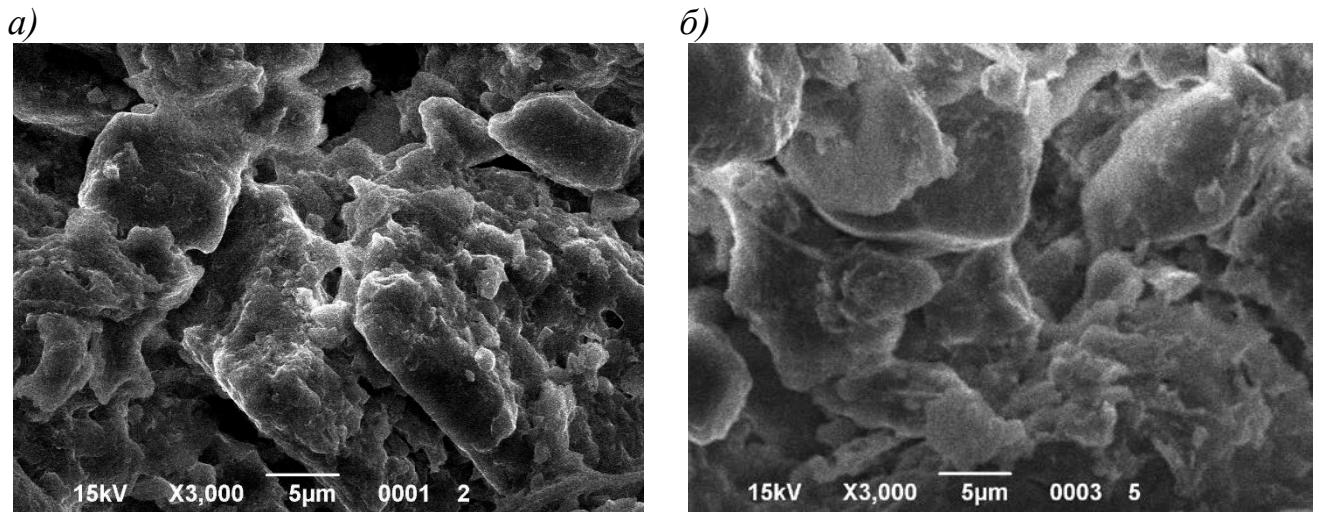


Рис. 9. Електронно-мікроскопічні знімки зразків ґрунтовмісних матеріалів до (а) та після (б) додавання активного мулу

У п'ятому розділі наведено дані про виробничу перевірку і впровадження результатів досліджень. На зміцнену ґрунтову композицію отримано патент на винахід № 115843 UA. Розроблену композицію було використано для забезпечення електрокорозійної стійкості основи пасажирської платформи на ст. Золочів напрямку Харків-Готня, засипки зовнішніх інженерних мереж залізничного транспорту на ст. Харків-Пасажирський при реконструкції вантажного складу під музей історії та залізничної техніки Південної залізниці, для забезпечення електрокорозійної стійкості будівель при реконструкції ПАТ «Харківський плитковий завод» з розширенням виробничих будівель під виробництво керамічної плитки. Загальна площа модифікованого ґрунту становить 675 м². Під час виробничо-дослідної перевірки встановлено, що розроблені матеріали сприяють стабілізації ґрунту та перешкоджають його сповзанню, запобігають розповсюдженню струмів витоку та забезпечують електрокорозійний захист конструкцій на об'єктах упровадження.

Було впроваджено такий комплекс робіт із модифікації ґрунту: підготовка смуги ґрунту; розпушення і подрібнення; перемішування подрібненого ґрунту з активним мулом та шлаком; ущільнення смуги стабілізованого ґрунту. Ця технологія придатна для використання, вона не затримує процесу виконання робіт. Для оцінювання рівня зниження електрокорозійної небезпеки було здійснено вимірювання потенціалів стосовно контрольного електроду до початку робіт і після. Величини різниці потенціалів становлять відповідно 0,3 і 0,05 В, що свідчить про ефективність цього заходу. Основний економічний ефект від упровадження нових матеріалів і технології полягає в продовженні міжремонтних термінів будівель та споруд і використанні некондиційних матеріалів. Розрахований загальний економічний ефект на всіх об'єктах упровадження становить 295,7 тис. грн. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ для підготовки бакалаврів і магістрів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітніми програмами «Промислове та цивільне будівництво» і «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті проведених досліджень встановлено, що модифікація ґрунтовмісних матеріалів відходами виробництв, зокрема активним мулом та металургійними шлаками, приводить до підвищення електричного опору композиційних матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу. Підвищення показників забезпечується за рахунок зниження іонної провідності в поровому просторі та утворення електрогетерогенних контактів між частинками композиційного матеріалу. У цих умовах активний мул набуває властивості аніонної поверхнево-активної речовини і здатності адсорбуватись на позитивно заряджених поверхнях частинок вапна, карбонатних складових ґрунту. Це дає змогу застосувати активний мул як іоногенну поверхнево-активну речовину з метою модифікації ґрунтовмісних матеріалів.

2. Експериментально підтверджено підвищення електричного опору при збереженні необхідної міцності за рахунок формування оптимальної структури ґрунтової композиції, забезпечення електрогетерогенних взаємодій адсорбцією іоногенних поверхнево-активних речовин, які входять до складу активного мулу. Величина питомого опору ґрунтових матеріалів змінюється від 17 до 87 Ом·м із збільшенням кількості активного мулу та шлаку у зв'язку із наявністю у складі активного мулу органічної складової, яка за рахунок комплексоутворюючих властивостей та взаємодії функціональних груп з іонами порового розчину зменшує їх рухливість, що приводить до зменшення іонної провідності матеріалу в цілому.

3. Розроблено склади ґрунтовмісних матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу з поліпшеними електрофізичними характеристиками та достатніми фізико-механічними властивостями. Установлено, що додавання активного мулу у кількості 50 % зменшує коефіцієнт стисливості зразків у 2,4 разу порівняно з немодифікованим ґрунтом. Зразки із додаванням 50% шлаку зменшують стисливість у 1,7 разу. Додавання в ґрунт активного мулу дає змогу збільшити модуль деформації з 7,8 до 20,3 МПа, шлак підвищує цю величину до 52,7 МПа. Це дало змогу отримати технічний результат, виражений у збереженні міцності композиційного матеріалу на стиск без використання кондиційних високовитратних в'язучих (цементу, вапна), зниженні витрат кондиційного ґрунту та відповідно зниженні вартості закріплення, розширенні сировинної бази для отримання матеріалу, можливості вторинного використання укріпленого ґрунту без його вивезення та утилізації.

4. Фізико-хімічні дослідження підтвердили теоретичні уявлення про зміни у структурі композиційних матеріалів на основі ґрунтів, активного мулу і шлаків. Інфрачервоні спектри зразків свідчать про можливість утворення продуктів гідратації шлаків без уведення лужних активаторів. Наявність смуг, що належать до деформаційних коливань Al–O, свідчить про лужну активацію шлаків, більш виражену для основного шлаку. Взаємодія з двовалентними іонами металів, що входять до складу активного мулу і шлаку, підтверджується переміщенням смуг до більш низьких частот у результаті зростання середньої відстані Me–O та іонного характеру зв'язку. Зникнення смуг активного мулу, характерних для різного виду зв'язків C–O, C–O–H, C–C, C–H, означає адсорбцію органічної складової активного мулу та її взаємодію з поверхневими іонами частинок ґрунту і шлаку. Порівняння мезо- та мікроструктури зразків ґрунтовмісних матеріалів підтвердили формування більш щільної структури у випадку застосування активного мулу та шлаків як модифікаторів.

5. Під час виробничо-дослідної перевірки та впровадження розроблених складів матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу встановлено, що розроблені матеріали сприяють стабілізації ґрунту, перешкоджають його сповзанню, запобігають розповсюдженню струмів витoku та забезпечують електрокорозійний захист конструкцій на об'єктах упровадження. Розрахований загальний економічний ефект на всіх об'єктах упровадження за рахунок продовження міжремонтних термінів будівель та споруд і використання некондиційних матеріалів становить 295,7 тис. грн. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ для навчання бакалаврів і магістрів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях:

1. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Застосування активного мулу станцій біологічного очищення для стабілізації ґрунтів. *Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 148. С. 58-62. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу на міцність ґрунтовмісних матеріалів, оптимізація їх складів.*

2. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту. *Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 155. С. 153-158. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу електролітів на щільність ґрунтовмісних матеріалів оптимізація їх складів.*

3. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження деформаційних характеристик ґрунтового матеріалу з використанням відходів. *Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. А. В. Лазаряна. Науковий журнал. 2017. № 2 (68). С. 166-172. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу та шлаків на деформаційні характеристики ґрунтовмісних матеріалів.*

4. Трикоз Л. В., Борзяк О. С., Савчук В. Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 171. С. 44-52. Особистий внесок: підготовка зразків, аналіз фізико-хімічних властивостей розробленого композиційного матеріалу.*

5. Савчук В. Ю. Електронно-мікроскопічні дослідження структури ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Збірник наукових праць. Одеса: ОДАБА, 2018. Вип. 71. С. 130-134.*

Публікації у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus:

6. L.V. Trykoz, I.V. Bagiyanc, V.Yu. Savchuk, O.M. Pustovoitova, S.M. Kamchatnaya, O.S. Saiapin. Investigation into Electrical Conductivity of the Multicomponent System of Trackbed. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2016. Vol. 25. Pp. 52-57. *Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу на електричний опір ґрунтовмісних матеріалів.*

Патенти:

7. Зміцнена ґрунтова композиція : пат. 115843 UA МПК (2006.01) E01C 3/04, E01C 7/36, E02D 3/12, C09K 17/40; Заявл. 09.12.2016; Опубл. 26.12.2017, Бюл.№ 24. 5 с. *Особистий внесок: проведення патентного пошуку, виконання експериментальних досліджень, аналіз їх результатів.*

Додаткові публікації:

8. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності зміни питомого опору ґрунту від кількості активного мулу станцій біологічного очищення. *Науковий вісник будівництва: Збірник наукових праць Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури. Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2017. Т. 87. № 1. С. 128-133. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу на електричний опір ґрунтовмісних матеріалів.*

Публікації апробаційного характеру:

9. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Использование активного ила станций биологической очистки для обеспечения устойчивости грунтовых массивов. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (23–24 квітня 2014 р., м. Харків). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. С. 81-82. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

10. Trykoz L., Rachkovskiy A., Savchuk V. Untersuchungen der Verbundwerkstoffe aus Böden und Bioschlamm bei biologischer Reinigung. 19 Internationale Baustofftagung, 16–18 September 2015, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2015. Band 2. P. 1427-1431. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

11. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доповіді 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 23–24 квітня 2015 р./під ред. Л.В.Трикоз. Харків: УкрДУЗТ, 2015. С. 39. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

12. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю., Савчук Ю. Ю. Дослідження залежності модуля деформації ґрунтового матеріалу від кількості шлаку металургійних комбінатів. Збірник матеріалів Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (25 листопада 2015 р., м. Полтава). Полтава: ПолтНТУ, 2015. С. 63-65. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

13. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності зміни питомого опору ґрунту від кількості активного мулу. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 78-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 26–27 квітня 2016 р./під ред. Л.В.Трикоз. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип.160 (додаток). С. 88. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

14. Trykoz L., Savchuk V. The surface interaction in the Soil-Slag-Biological Solids system. 2nd International Conference on the Chemistry of Construction Materials, 10–12 October, 2016, Munchen, Germany. Kempten: AZ Druck und Datentechnik, 2016. GDCh-Monographie. Vol. 50. pp. 400–403. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

15. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження властивостей ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів виробництва. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доповіді 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 19–21 квітня 2017 р./під ред. Л.В. Трикоз. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 76–78. *«Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.»*

16. Савчук В. Ю. Особливості формування мезоструктури ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 80-ї міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 24–26 квітня 2018 р./під ред. Л.В. Трикоз. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 101.

АНОТАЦІЯ

Савчук В. Ю. Ґрунтовмісні матеріали, модифіковані відходами виробництв, з підвищеним електричним опором для залізничних споруд. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена розробленню ґрунтовмісного будівельного матеріалу, який має підвищений електричний опір за достатніх фізико-механічних характеристик, на основі ґрунтів, металургійного шлаку та активного мулу для улаштування основ залізничних споруд з метою запобігання розповсюдженню струмів витоку та блукаючих струмів, які зумовлюють електрокорозійне руйнування конструкцій.

Поглиблено теоретичні уявлення про формування структури композиційного матеріалу на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу станцій біологічного очищення, який має властивості іоногенної поверхнево-активної речовини та утворює електрогетерогенні контакти з продуктами гідратації шлаків і ґрунтовими частинками. Обґрунтовано можливість активного мулу станцій біологічного очищення бути активатором твердіння як кислого, так і основного шлаків за рахунок амфотерності функціональних груп органічної складової активного мулу. Поглиблено теоретичні уявлення про закономірності зміни електричних властивостей багатокомпонентних систем, до яких належать ґрунтовмісні матеріали, за рахунок взаємодії функціональних груп органічної складової активного мулу з іонами порового розчину, що зменшує їх рухливість та приводить до зменшення іонної провідності матеріалу в цілому. Розроблено композиційний матеріал на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу станцій біологічного очищення з підвищеним електричним опором. Результати досліджень впроваджено для захисту від електрокорозії будівель і споруд, які зазнають впливу струмів витоку та блукаючих струмів, а також у навчальному процесі.

Ключові слова: ґрунтовмісні матеріали, активний мул, шлак, струм витоку, електричний опір, електрокорозія.

АННОТАЦИЯ

Савчук В. Ю. Грунтосодержащие материалы, модифицированные отходами производств, с повышенным электрическим сопротивлением для железнодорожных сооружений. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена разработке грунтосодержащего строительного материала, который имеет повышенное электрическое сопротивление при достаточных физико-механических характеристиках, на основе грунта, металлургического шлака и активного ила для устройства оснований железнодорожных сооружений с целью предотвращения распространения токов утечки и блуждающих токов, которые вызывают электрокоррозионное разрушение конструкций.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цели, научная гипотеза, определен круг научных задач, изложены основные положения, имеющие научную новизну и практическую ценность. Приведены сведения об апробации основных результатов диссертации, количестве публикаций, структуре и объеме работы.

В **первом разделе** выполнен аналитический обзор существующего опыта использования грунтов для изготовления строительных материалов, получения на их основе новых строительных материалов со свойствами, пригодными для их использования в условиях воздействия блуждающих токов и токов утечки. Изложен аналитический обзор материалов для предотвращения нарушения устойчивости земляных сооружений и грунтовых массивов по критерию коррозионной стойкости.

Во **втором разделе** приведены характеристики материалов и методы исследований, которые были применены при выполнении работы. Определены основные стандартные методы исследований свойств грунтосодержащих материалов как физико-механические, так и физико-химические. Разработана и описана методика проведения исследований электрических свойств грунтосодержащих материалов.

В **третьем разделе** приведено теоретическое обоснование активации твердения шлаков введением в грунтосодержащие материалы активного ила. Показано, что активный ил при определенных условиях (диссоциации карбоксильных групп и аминок групп белков с образованием гидроксильных ионов) может быть щелочным активатором твердения шлака. Кристаллы гидроксида кальция и коллоидные частицы активного ила имеют размер на порядок меньше, чем у частиц шлака. Размещаясь в поровом пространстве между частицами шлака, частицы гидроксида кальция и активного ила формируют оптимальную структуру грунтовой композиции, уплотняя ее и повышая прочность. При этом контакты между частицами различных размеров обеспечиваются в том числе электрогетерогенными взаимодействиями. Кроме того, адсорбированные поверхностно-активные вещества образуют на гидрофильных минеральных частицах гидрофобные оболочки, уменьшая водопроницаемость и увеличивая морозостойкость конечного грунтосодержащего материала. Предложены новые принципиальные схемы конструктивно-технологического решения защиты стоек и опор высоких пассажирских платформ, металлических труб инженерных сетей, подверженных электрокоррозии, устройством своеобразных экранов из грунтосодержащих материалов с повышенным электросопротивлением.

Четвертый раздел посвящен экспериментальным исследованиям свойств разработанных грунтовых композиций, а именно: определение необходимого количества активного ила для стабилизации грунта; определение вида и количества шлака для повышения прочности грунтодержущих материалов; определение необходимого количества активного ила для увеличения электросопротивления грунта; исследование влияния вида шлака на электрические свойства грунтодержущих материалов; исследование взаимодействий компонентов грунтодержущих материалов методом инфракрасной спектроскопии; исследование мезоструктуры грунтодержущих материалов методом оптической микроскопии; электронно-микроскопические исследования структуры грунтодержущих материалов.

В **пятом разделе** приведены данные о производственной проверке и внедрении результатов исследований для защиты от электрокоррозии зданий и сооружений, подвергающихся воздействию токов утечки и блуждающих токов, а также в учебном процессе.

Ключевые слова: грунтодержущие материалы, активный ил, шлак, ток утечки, электрическое сопротивление, электрокоррозия.

ABSTRACT

Savchuk V.Yu. Soil-containing materials modified by industrial wastes with increased electrical resistance for railway structures. - Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.05 - building materials and products. – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2018.

The thesis deals with development of a soil-containing building material with a higher electric resistance and adequate physical and mechanical properties on the basis of soil, industrial slag and activated sludge for foundations of railway facilities in order to prevent leakage and stray currents causing electrocorrosion damages in their structures.

The theoretical concepts of the structural formation of a composite material based on soils, industrial slags and activated sludge from biological treatment stations were extended. It has properties of an ionoheneous surface-active material and forms electro heterogeneous contacts with hydrated products of slags and soil particles. The possibility to use activated sludge from biological treatment stations as a solidifying activator for acid and basic slags due to amphoteric character of functional groups of the organic component of activated sludge was grounded. The theoretical models of change in electric properties of multicomponent systems, and soil-containing materials are among them, were carefully studied. These changes are the result of interactions of functional groups of the organic component of activated sludge with ions of a pore solution; it decreases their mobility and worsens ionic conductivity of the material as a whole. A composite material with a higher electric resistance based on soil, metal slags and activated sludge from biological treatment stations was developed.

Results of the research were introduced to protect buildings and structures from electrocorrosion caused by leakage and stray currents; they were also adopted in the academic curricula.

Keywords: soil-containing materials, activated sludge, slag, leakage current, electric resistance, electric corrosion.

САВЧУК ВАЛЕНТИНА ЮРІЇВНА

**ҐРУНТОВМІСНІ МАТЕРІАЛИ, МОДИФІКОВАНІ ВІДХОДАМИ
ВИРОБНИЦТВ, З ПІДВИЩЕНИМ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПОРОМ
ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СПОРУД**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 10.01.2019 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів. офсетний.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-видав. арк. 1,0.
Тираж 100 прим. Зам. №

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953).
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
тел. 717-03-54
www.modelist.in.ua