

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ТРИКОЗ Людмила Вікторівна

УДК 691.41:544.032 (043.3)

**ТЕОРІЯ НАДЛИШКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ  
І РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ СТІЙКОСТІ  
МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЇХ НАЯВНОСТІ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2015



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант:** Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор хімічних наук, професор  
**Плугін Аркадій Миколайович,**  
Українська державна академія залізничного транспорту, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Вандоловський Олександр Георгійович,**  
Харківський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри будівельних матеріалів і виробів;

доктор технічних наук, професор  
**Нетеса Микола Іванович,**  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри будівельного виробництва та геодезії;

заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор  
**Мішутін Андрій Володимирович,**  
Одеська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Захист дисертації відбудеться 19 березня 2015 р. об 11.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: майдан Фейєрбаха 7, м. Харків, 61050.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: майдан Фейєрбаха 7, м. Харків, 61050.

Автореферат розісланий 17 лютого 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук, доцент

Г.Л. Ватуля



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У забезпеченні безперервної та безпечної роботи транспорту важливу роль відіграє технічний стан усіх його інженерних споруд – земляних із ґрунтовмісних матеріалів, бетонних і залізобетонних. Останнім часом у літературних джерелах, мережевих ресурсах поширюється інформація про те, що з кінця минулого століття багаторазово почастишали глобальні катастрофи на Землі: землетруси, виверження вулканів, урагани, цунамі, повені, торнадо. Деякі автори відзначають, що катастрофи супроводжуються електричними явищами й надлишковими зарядами. Почастішали також випадки довільного руйнування інженерних споруд, зокрема мостів, сходу найбільших зсувів, селів, провалів ґрунту, відходу води із водойм та ін., що свідчить про дію руйнівних сил у природі, які раніше не враховувалися фундаментальною фізикою, а для будівельних конструкцій та споруд – будівельним матеріалознавством. Загальною причиною є те, що Земля і процеси, які відбуваються на ній, не є об'єктами досліджень цих дисциплін. Земля, усі її складові – це системи різного ступеня дисперсності з фізико-хімічними взаємодіями між їх структурними елементами і, отже, вони є об'єктами досліджень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем, розвинутих відповідно. Таким чином, існує *наукова проблема*, сутність якої полягає в необхідності розвитку теоретичних основ забезпечення стійкості, міцності й довговічності матеріалів із ґрунтів, бетону та залізобетону, будівель і споруд із них, які експлуатуються в умовах надлишкових електричних зарядів. *Значимість проблеми* обумовлена масовістю зазначених явищ порушення стійкості основ, схилів, будівель та споруд, погіршенням технічного стану об'єктів в умовах дефіциту коштів на поточне утримання та капітальні ремонти, безпосереднім зв'язком їх безаварійної експлуатації з безпекою життєдіяльності значної кількості людей.

Багаторічні дослідження наукової школи кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ з підвищення довговічності матеріалів і конструкцій із них у складних умовах експлуатації дали змогу розвинути новий науковий напрям – «Макроколоїдна хімія та фізико-хімічна механіка Землі». На основі цього напрямку в роботі розкрито механізми та рушійні сили руйнування великих будов, зсувів, розроблено пропозиції щодо їх запобігання. Отже, тема дисертації, яка присвячена розвитку теорії впливу надлишкових макроелектричних зарядів на властивості матеріалів із ґрунтів, бетону та залізобетону та розробленню способів забезпечення їх довговічності, є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» Української державної академії залізничного транспорту.

Виконання роботи здійснювалося в межах держбюджетних науково-дослідних тем Міністерства транспорту та МОН України: «Розробка теоретичних та експериментальних основ колоїдно-хімічних і електрохімічних способів закріплення і зміцнення незв'язних ґрунтів, ґрунтів-пливунів і споруд в них» (№ ДР 0104U003236); «Розвиток теоретичних основ та експериментальні дослідження протизсувних заходів, технологічних рішень і матеріалів» (№ ДР 0112U000420), а також у межах госпдоговірних науково-дослідних робіт, що виконувалися відповідно до планів НДДКР

Укрзалізниці та Південної залізниці: «Дослідження і розробка ефективних способів закріплення слабких ґрунтів основ будівель і споруд, що експлуатуються на залізницях України», «Проведення досліджень з розширенням статистичних даних для розробки відомчих будівельних норм щодо захисту будівельних конструкцій та споруд залізничного транспорту від агресивних дій», «Дослідження і розробка рекомендацій щодо захисту і підсилення будівель і споруд станційних комплексів, які руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод», «Розробка конструктивно-технологічних рішень щодо усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів та рекомендацій щодо їх впровадження при експлуатації» (№ ДР 0112U006827).

**Мета дослідження** – створення теорії електричних надлишкових зарядів Землі, їх дії на ґрунти, матеріали, конструкції та споруди, забезпечення стійкості в умовах накопичення таких зарядів, розроблення на цій основі способів і методів захисту й збільшення термінів служби матеріалів, конструкцій і споруд.

*Наукова гіпотеза:*

1. Втрати стійкості ґрунтів основ і схилів, що почастишали в останні десятиліття, обвалення будівель та споруд, аномальні зсуви, провали ґрунтів обумовлені накопиченням надлишкових електричних зарядів Землі, що породжуються термодифузією електронів із її ядра та підсилюються природними електрокінетичними явищами на великих територіях, струмами витоку на електрифікованому залізничному транспорті.

2. В умовах накопичення надлишкових електричних зарядів погіршуються фізико-механічні властивості ґрунтів в основах і схилах, бетону та залізобетону у фундаментах і конструкціях будов, а існуючі способи їх модифікування та посилення виявляються малоефективними при дії надлишкових зарядів.

3. Забезпечити стійкість основ, схилів, будов можливо шляхом застосування ґрунтовмісних матеріалів, складів бетону, у яких не можуть накопичуватися надлишкові заряди, або розробленням способів нейтралізації цих зарядів.

4. В основі забезпечення міцності й стійкості ґрунтовмісних матеріалів і бетону в умовах надлишкових електричних зарядів лежить зміна електроповерхневих характеристик компонентів їх твердої фази та електроповерхневі взаємодії (електрогетерогенні й електрогомгенні контакти) між ними, а також електрокінетичні явища в них, конструкціях та спорудах.

Для досягнення мети в роботі поставлено такі **задачі дослідження**:

- виконати аналіз існуючих даних і розробити нові теоретичні уявлення про фактори, рушійні сили й механізми погіршення фізико-механічних властивостей ґрунтів і порушення стійкості споруд і схилів;

- виконати аналіз причин деформацій і руйнувань висотних і багатоповерхових будівель та розробити нові теоретичні уявлення про накопичення надлишкових електричних зарядів на них і електричні поля, що виникають при цьому;

- розробити критерії вибору матеріалів для конструкцій та споруд, що експлуатуються в умовах надлишкових електричних зарядів, і виконати відповідно до них аналіз існуючих ґрунтовмісних матеріалів, бетонів і способів їх модифікування;

- розробити нові теоретичні положення про зміну властивостей, у тому числі зниження в'язкості й підвищення набухання глинистих ґрунтів в умовах надлишкових електричних зарядів;

- розробити нові теоретичні уявлення про втрату зв'язності ґрунтів, виникнення зсувів, аномальних повеней в умовах надлишкових електричних зарядів;
- розробити теоретичні основи створення матеріалів, у тому числі модифікування ґрунтовмісних матеріалів для конструкцій та споруд, що експлуатуються в умовах надлишкових електричних зарядів;
- виконати комплексні лабораторні та натурні дослідження із перевірки розроблених теорій і моделей зміни властивостей матеріалів в умовах надлишкових електричних зарядів;
- розробити способи збереження стійкості матеріалів, що забезпечують стійкість і довговічність основ, схилів, будівель та споруд, що експлуатуються в умовах надлишкових електричних зарядів;
- виконати виробничі випробування та впровадити способи забезпечення стійкості й довговічності основ, схилів, будівель та споруд, що експлуатуються в умовах надлишкових електричних зарядів.

**Об'єкт дослідження** – процеси, явища, взаємодії, що визначають структуру, міцність, довговічність і руйнування ґрунтовмісних матеріалів, бетону та залізобетону в умовах електричних надлишкових зарядів Землі.

**Предмет дослідження** – ґрунтовмісні матеріали, бетон, залізобетон, конструкції та споруди із них, матеріали й способи їх модифікування та захисту від руйнівного впливу надлишкових електричних зарядів Землі.

**Методи дослідження.** Змінення властивостей матеріалів і конструкцій із них досліджували з використанням комплексу стандартних і спеціально розроблених методів. Міцність бетону визначали руйнівними та неруйнівними стандартними методами. Визначення показників консистенції ґрунтів проводили стандартними методами. Реологічні властивості ґрунтовмісних матеріалів визначали за допомогою ротційного віскозиметра ВСН-3. Змінення мікроструктури ґрунтовмісних матеріалів і бетону досліджували за допомогою фізико-хімічних методів: рентгенофазового, інфрачервоної спектроскопії, світлової та електронної мікроскопії. Рентгенофазовий аналіз виконували за допомогою модернізованого рентгенівського дифрактометра ДРОН-3, ПК і ПЗ DIFWINI, інфрачервону спектроскопію – за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker ALPHA, ПК і ПЗ OPUS. Світлову мікроскопію виконували на сколах і зрізах у відбитому світлі за допомогою бінокулярного мікроскопа МБС-2. Деформації зсуву нестійких ґрунтових масивів при впливі постійного електричного поля, ефективність нових конструктивних рішень захисту від руйнування досліджували за спеціально розробленими методами. Характеристики електричного поля від розділення зарядів у конструкціях і спорудах досліджували у відповідності до спеціально розроблених методик і схем вимірювань за допомогою цифрових мультиметрів Sanwa PC510, які оснащені інтерфейсом з ПК і ПЗ Link.

**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 і оригінальних фізико-механічних та фізико-хімічних методів досліджень, методів статистичної обробки результатів досліджень, а також підтвердженням теоретичних і експериментальних досліджень експлуатаційними дослідженнями.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Уперше встановлено, що втрата ґрунтовмісними матеріалами та бетоном будівельно-технічних властивостей, руйнування основ, конструкцій та споруд, аномальні зрушення, провали ґрунтів обумовлені, зокрема, накопиченням надлишкових електричних зарядів Землі, які породжуються термодифузією електронів з її ядра та підсилюються природними електрокінетичними явищами на великих територіях, струмами витоку на електрифікованому залізничному транспорті.

2. Отримали подальший розвиток уявлення про те, що суцільний арматурний каркас і бетон у високих монолітних залізобетонних будівлях призводять в умовах великих надлишкових зарядів та електрополя Землі до виникнення горизонтальних і вертикальних дипольних моментів, значних за величиною, і надлишкових зарядів в окремих частинах будівель. Це є причиною виникнення горизонтальних сил, які можуть викликати істотні деформації будівель, аж до руйнування. У зв'язку з практично нескінченною діелектричною проникністю сталі й гідросилікатної складової цементного каменю в бетоні, здатністю заліза спонтанно поляризуватися в незначних електричних полях, виникають великі надлишкові негативні заряди у верхній частині будівлі. Це викликає змінення пружних властивостей арматури й бетону на еластичні й пластичні і відповідно деформування та руйнування будівель.

3. Отримали подальший розвиток уявлення про те, що великі електропровідність і проникність матеріалів створюють сприятливі умови для перенесення та накопичення електричних зарядів, виникнення локальних і поляризаційних полів, порушення еквівалентного співвідношення різнойменно заряджених частинок і, як наслідок, призводять до зниження міцності, стійкості й довговічності матеріалів. Розроблено нові критерії вибору матеріалів для роботи в умовах надлишкових електричних зарядів.

4. Уперше встановлено, що дія на ґрунтовмісні матеріали й бетон надлишкових електричних зарядів призводить до змінення їх властивостей, нейтралізації або перезарядження заряджених частинок або ділянок на них та зникнення (зменшення) сил притягання між частинками, збільшення тиску набухання і, як наслідок, руйнування конструкцій, що зводяться в ґрунтах, або споруд із ґрунтовмісних матеріалів.

5. Уперше встановлено, що дія на ґрунтовмісні матеріали надлишкових електричних зарядів призводить до втрати їх зв'язності й розпушення, аж до переходу їх у в'язкотекучий стан, а також викликають електроосмотичне підняття ґрунтових вод на великих територіях.

6. Отримали подальший розвиток уявлення про забезпечення стійкості матеріалів в умовах дії надлишкових електричних зарядів і електрополів. Встановлено, що між колоїдними частинками силікату натрію з негативним рівноважним електроповерхневим потенціалом і молекулами аніонної добавки-поліелектроліта з позитивним рівноважним електроповерхневим потенціалом виникає електрогетерогенне притягання, у результаті якого утворюються міцні й водостійкі електрогетерогенні контакти, які є непроникними для надлишкових електричних зарядів. Удосконалено уявлення про виникнення власного поля поляризації матеріалів, яке викликає електрофорез глинистих частинок і порушення стійкості матеріалів і конструкцій, що зводяться в ґрунтах, або споруд із ґрунтовмісних матеріалів.



7. Отримано нові експериментальні дані про зміну структури та фізико-механічних властивостей композиційних ґрунтовмісних матеріалів і бетонів від впливу надлишкових електричних зарядів і полів.

8. Уперше показано, що при закріпленні основ будівель та споруд використання модифікованих композицій на основі розчину силікату натрію з електрогетерогенними контактами між структурними елементами забезпечує стійкість й довговічність в умовах надлишкових електричних зарядів та електрополів Землі.

9. Розроблено способи запобігання руйнуванню споруд в умовах надлишкових електричних зарядів як за рахунок модифікування матеріалів, так і за рахунок встановлення струмопровідних шунтуючих пристроїв, здатних пропускати виникаючий струм крізь себе й підтримувати таким чином електронейтральність системи.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробленні матеріалів, які забезпечують довговічність конструкцій із них в умовах накопичення надлишкових електричних зарядів, а також способів запобігання руйнівній дії електричних зарядів і полів на ґрунтовмісні матеріали та споруди із них, зокрема земляного полотна залізниць. Ці матеріали й технології реалізовані при відновленні й посиленні аварійних мостів, водопропускних труб і пасажирських платформ за планами капітальних ремонтів Південної залізниці та Укрзалізниці, а також при розробленні відомчих нормативних та інструктивних документів: «Технічні вказівки з діагностування земляного полотна залізниць» (проект); «Рекомендації із захисту та посилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод»; «Рекомендації із закріплення слабких ґрунтів основ будівель та споруд, що експлуатуються на залізницях України»; «Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів».

Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі УкрДАЗТ при підготовці фахівців і магістрів за спеціальностями «Залізничні споруди та колійне господарство» (спеціалізація «Технічна експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту») і «Промислове та цивільне будівництво» (спеціалізація «Реконструкція та утримання будівель залізничного транспорту») у лекційних курсах, на лабораторних і практичних заняттях, у дипломному проектуванні.

Основний економічний ефект від розробок по дисертації склав 2 326 379 грн. Він обумовлений збільшенням міжремонтних термінів і продовженням термінів безпечної експлуатації транспортних споруд за рахунок захисту матеріалів у конструкціях від руйнівної дії надлишкових електричних зарядів.

**Особистий внесок здобувача.** Огляд існуючих уявлень із досліджуваних питань, розроблення теоретичних розділів дисертації – формулювання наукових гіпотез, виведення залежностей, відповідні розрахунки і т.п. виконано автором особисто. Експериментальні й натурні дослідження та впровадження результатів досліджень виконані спільно зі співавторами публікацій. Участь автора у спільних публікаціях відображено в переліку опублікованих робіт.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних наукових конференціях і семінарах: Міжнародна науково-практична конференція «Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж» (9-12 червня 2003 р., м. Донецьк); Міжнародний форум «Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки» (14-16 жовтня

2009 р., м. Одеса); 3-тя науково-технічна конференція «Математичні моделі процесів у будівництві. Залізобетонні конструкції і матеріали» (24-25 березня 2010 р., м. Луганськ); Міжнародна науково-практична конференція «Мости та тунелі: Теорія. Дослідження. Практика» (27-28 травня 2010 р., м. Дніпропетровськ); 72-га Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (19-20 квітня 2012 р., м. Дніпропетровськ); 18 Internationale Baustofftagung «18.Ibausil» (12-15 вересня 2012 р., м. Веймар, Німеччина); Міжнародна наукова конференція «Эффективные композиты для архитектурной геоники» (18-19 вересня 2013 р., м. Белгород, Росія); VI Міжнародна наукова конференція «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» (15-17 жовтня 2013 р., м. Харків); Міжнародна конференція «Структуроутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (11-13 березня 2014 р., м. Одеса); Міжнародна науково-практична конференція «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (24-25 квітня 2014 р., м. Перм, Росія); науково-практична інтернет-конференція «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2014» (17-28 червня 2014 р.); а також на 12 науково-технічних конференціях УкрДАЗТ (за період 1997-2014 рр.).

У повному обсязі робота доповідалася на міжвузівському семінарі з апробації дисертаційних досліджень (м. Харків, 09.10.2014 р.) та на розширеному спеціалізованому науковому засіданні кафедри виробництва будівельних виробів і конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури (м. Одеса, 05.10.2014 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 47 друкованих праць, серед яких 32 статті у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих МОН України, у тому числі 6 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 1 монографія, 2 авторських свідоцтва, 2 патенти на винаходи, 5 – в зарубіжних виданнях, 5 – у збірниках праць конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, 7 розділів, загальних висновків, додатків і викладена на 302 сторінках основного тексту. Повний обсяг становить 482 сторінки і містить 224 рисунки, 24 таблиці, список літературних джерел із 417 найменувань на 53 сторінках, 4 додатки на 39 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** сформульовано актуальність теми, мета й завдання досліджень, викладено наукову новизну й практичне значення роботи. Відображено основні наукові положення й результати досліджень, які виносяться на захист. Наведено відомості про структуру дисертації, публікації та апробацію роботи.

У **першому розділі** виконано аналітичні дослідження стійкості висотних давніх і сучасних споруд та розроблено нові теоретичні уявлення про надлишкові (надрівноважні) заряди й електричні поля на основі термодифузного та інших механізмів їх виникнення.

Оскільки температура ядра Землі (близько 6000 °С) набагато вища від температури її верхніх шарів, виникає термодифузія електронів із ядра до поверхні, що призводить до виникнення надлишкового електричного заряду  $Q$  на поверхні Землі і відповідно електростатичного поля. Як відомо, середня напруженість цього поля до-

рівнює  $E = -130$  В/м і змінюється в межах від  $E = -1000$  В/м до  $E = +200$  В/м. Така неоднорідність визначається головним чином макроколоїдними процесами та явищами, з яких для розглянутого механізму найбільше значення мають вимивання катіонів дифузної частини подвійних електричних шарів частинок ґрунту потоками води з підвищених місць суші до узбережжя океану, моря або великої водойми й дифузійне вимивання (винесення) катіонів у воду океану, моря або річки. При цьому на великих за площею ділянках Землі (макрооб'єктах) надлишкові заряди можуть набувати значні величини (об'ємний заряд  $870$  Кл/м<sup>3</sup>). Надлишкові заряди в матеріалах конструкцій будівель і споруд призводять до значних змінень їх властивостей, аж до переходу від пружності до еластичності або текучості, втрати міцності.

Електричне поле Землі поляризує всі високі будівельні споруди, у результаті чого їх верхня частина набуває надлишковий негативний заряд, а нижня – позитивний, що можна уявити у вигляді вертикального дипольного моменту  $\mu_V$  (рис. 1). Однойменний заряд частинок призводить до виникнення розтягуючих повздовжніх напружень у конструкціях за рахунок сил електростатичного відштовхування, які прискорюють тріщиноутворення та руйнування, і горизонтальних електростатичних сил  $f_{\text{ВД}}$ , що прагнуть відхилити такі споруди від вертикальної осі протягом практично всього часу їх експлуатації (горизонтальний дипольний момент  $\mu_H$ ). Найбільше такі відхилення проявляються в давніх масивних спорудах, наприклад, середньовічних «падаючих» вежах, яких налічується у світі велика кількість. Виконаний аналіз характеру нахилу веж у зіставленні з лініями напруженості поля Землі показує, що на всі ці вежі діє горизонтальна сила однієї й тієї ж природи, що виникає під дією електрополя Землі й надлишку протилежних за знаком зарядів на конструкціях та на поверхні різних ділянок і територій Землі.

Такі ж сили й дипольні моменти виникають і в бетоні сучасних висотних монолітних залізобетонних будівель. При бетонуванні фундаментів і перших поверхів будівлі відбувається перенесення катіонів  $Ca^{2+}$  з бетону в ґрунт котловану, особливо в дощову погоду, за рахунок їх дифузії (рис. 2, а). Потім, у міру того, як твердне бетон фундаменту й нижніх поверхів, у ньому утворюється все більша кількість гідросилікатів кальцію (ГСК) більш низької основності з питомою поверхнею до  $700$  м<sup>2</sup>/г. У такій високодисперсній системі частинки з негативно зарядженими потенціалвизначальними іонами (ПВІ) мають стиснуті подвійні електричні шари (ПЕШ) з високою концентрацією протиіонів  $Ca^{2+}$  у них. У той же час у бетоні раннього твердіння верхніх поверхів при ще невеликому ступені гідратації цементу й малій кількості гідросилікатного гелю ПЕШ частинок були розтягнутими, і концентрація протиіонів  $Ca^{2+}$  в них набагато менша. Крім того, у дуже низькосновних ГСК бетону високої міцності між частинками гелю утворюються ПЕШ із загальним шаром протиіонів (ПРІ), що призводить до додаткового збільшення кількості незв'язаних катіонів  $Ca^{2+}$  і ще більшої їх концентрації в нижній частині будинку. Відповідно у вертикальних каплярах бетону будівлі відбувається перенесення катіонів  $Ca^{2+}$  знизу вгору (рис. 2, б), збільшуючи надлишковий позитивний заряд  $+\Delta Q$  на перших поверхах будинку. Із збільшенням кількості поверхів, ступеня поляризації конструкцій будівлі під впливом поля Землі і відповідно накопичення надлишкового негативного заряду, верхня частина будівель відхиляється у бік позитивного полюса.

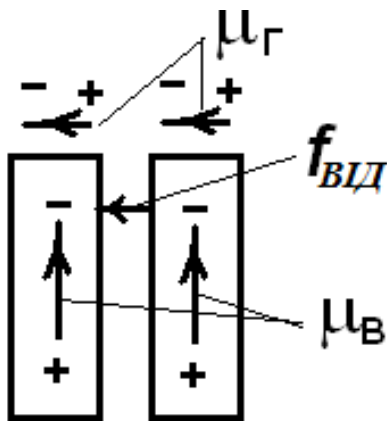


Рис. 1. Схема виникнення електричних диполів і сил, що діють на висотні будинки й вежі

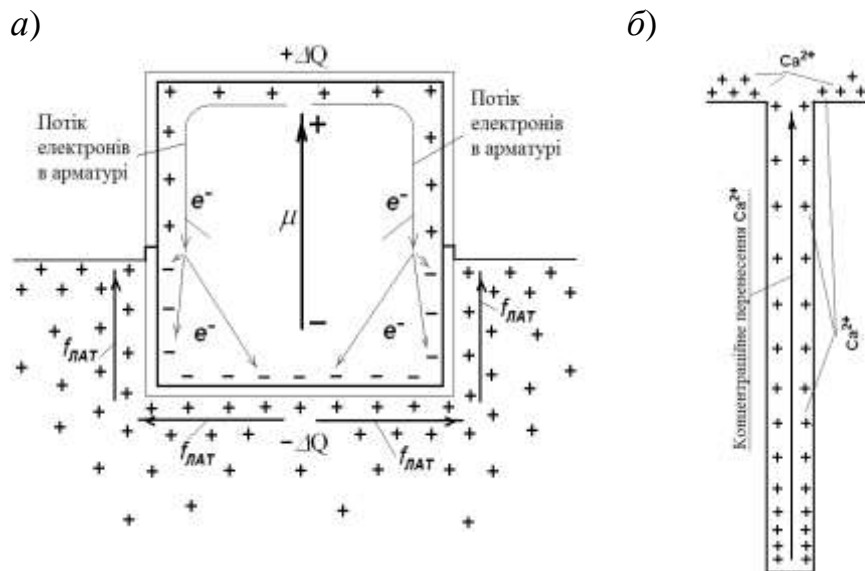


Рис. 2. Схема виникнення надлишкового позитивного заряду в бетоні перших поверхів монолітного будинку: а – загальна схема; б – схема концентраційного перенесення катіонів  $Ca^{2+}$  у капілярі цементного каменю

При виникненні надлишкового негативного заряду в арматурі верхніх поверхів у субмікроструктурі сталі нейтралізується значна частина ПВІ цементиту, зникає значна частина пружних міцних електрогетерогенних контактів, а замість них виникає надлишок електрогомогенних еластичних слабких контактів між негативно зарядженими зернами фериту. Тобто пружні властивості арматури переходять в еластичні (або пластичні), і вона розтягується з виникненням залишкових деформацій. При накопиченні надлишкового негативного заряду в бетоні високих поверхів збільшується поверхневий заряд гелевих частинок, що викликає електростатичне відштовхування однієї від одної. Це відповідає такому ж набуванню еластичних (пластичних) властивостей бетону натомість пружних, бетон деформується, і при напруженні розтягування понад границю розтягу в ньому виникає велика тріщина.

На підставі огляду наявних у роботі даних визначено, що величезні надлишкові електричні заряди в поверхневих шарах Землі викликають ослаблення ґрунтів, перехід їх у текучий стан, а також електроосмотичне підняття або відхід води на великих територіях. Ослаблення ґрунтів під впливом надлишкових зарядів проявляється тільки в масивах ґрунту, тобто при накопиченні зарядів на макрооб'єктах, і в лабораторних умовах на малих зразках не виявляється. У зв'язку з цим традиційні способи визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів для таких зон є дуже неточними.

На основі аналітичних досліджень розроблено такі теоретичні передумови. Найбільші провали, опускання ґрунтів, відхід води, прямовисні й сильно пологі зсуви, нахил давніх веж, руйнування конструкцій та інше обумовлено зміненням субмікро- і мікроструктури матеріалу в умовах накопичення великих надлишкових зарядів різних знаків, а також впливом вертикальної й горизонтальної складових електрополя Землі глобального та локального масштабів і відповідною поляризацією конструкцій. Горизонтальна складова електрополя локального масштабу виникає

під впливом макроколоїдних процесів і явищ, основними з яких є вимивання катіонів дифузної частини подвійних електричних шарів частинок ґрунту з підвищених місць великої площі до узбережжя моря або водотоку, а також винесення цих катіонів із узбережжя у воду океану, моря або водотоку й катіонів  $Ca^{2+}$  із конструкцій.

**У другому розділі** виконано аналіз існуючих ґрунтовмісних матеріалів, бетонів, способів їх модифікування й теоретичних вітчизняних і зарубіжних досліджень за розробленими критеріями міцності й довговічності в умовах надлишкових електричних зарядів. В основу розроблення критеріїв покладена непроникивість модифікованих матеріалів для проникнення в них надлишкових зарядів і врахування того, що в ґрунтах, бетонах і більшості матеріалів, які використовуються для модифікування, перенесення зарядів здійснюється водним середовищем.

Згідно з цими критеріями із кількості будівельних матеріалів, які застосовуються для виготовлення виробів і конструкцій, а також для їх модифікування, для запобігання знижуючого міцність впливу надлишкових зарядів і електрополів найбільш застосовними й перспективними є матеріали, взаємодія структурних елементів у яких забезпечується через електрогетерогенні (різнойменно заряджені) контакти ЕГК і електрогомогенні (однойменно заряджені) ЕГомК із загальним шаром протиіонів. У цьому випадку сили кулонівського притягання між ПВІ і ПРІ перевищують зміщуючу силу від зовнішнього електричного поля локального масштабу. У відповідності до вищевикладених критеріїв проаналізовано всі матеріали на основі ґрунтів і бетонів, серед яких ґрунтосилікати, геополімери, геоцементи, тероліти, протифільтраційні завіси, просочувальні та закріплювальні склади на неорганічних і органічних в'язучих, тампонажні розчини. Загальним їх недоліком є високі електропровідність і проникність, що створює сприятливі умови для перенесення та накопичення електричних зарядів, виникнення локальних і поляризаційних полів, порушення еквівалентного співвідношення різнойменно заряджених частинок і, як наслідок, загального зниження міцності й довговічності матеріалів.

У складних умовах експлуатації, що властиві конструкціям і спорудам на електрифікованих ділянках залізничної колії, або при локальному відхиленні напруженості електричного поля Землі від середнього значення змінення властивостей матеріалів не досліджено. На підставі статистичних даних про дефектні ділянки земляного полотна на залізницях України зроблено висновок про вплив виду електрифікації на розподіл дефектів – кількість осідань зросла в три рази на ділянках, електрифікованих постійним струмом, у той же час на двох інших типах ділянок (неелектрифікованих і електрифікованих змінним струмом) збільшення становило лише у два рази. На цих же ділянках є значним і зменшення кількості спливів укосів (у 10 разів), а на ділянках, електрифікованих постійним струмом, таке зниження становило 1,7 рази. Таким чином, зовнішнє електричне поле викликає електроміграцію іонів дифузного шару, що є додатковим дестабілізуючим фактором для земляного полотна.

**У третьому розділі** наведено дані про методи досліджень і матеріали, які використовувались у дисертації. Для моделювання зміни властивостей ґрунтів були використані глинисті породи Журавлівського відслонення (м. Харків). Також для досліджень використовувалися: розчин силікату натрію (скло натрієве рідке ГОСТ 13078); добавка-суперпластифікатор С-3 порошкоподібна ТУ 6-36-0204229-625 виробницт-

ва ВАТ «ГК Поліпласт» (м. Новомосковськ Тульської обл., Росія); кислота ортофосфорна (ГОСТ 6552); вода питна (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

Міцність бетону визначали руйнівними та неруйнівними стандартними методами. Визначення показників консистенції ґрунтів проводили стандартними методами. Реологічні властивості ґрунтовмісних матеріалів визначали за допомогою ротаційного віскозиметра ВСН-3. Зміну мікроструктури ґрунтовмісних матеріалів і бетону досліджували за допомогою фізико-хімічних методів: рентгенофазового, інфрачервоної спектроскопії, світлової та електронної мікроскопії. Деформації зсуву нестійких ґрунтових масивів при впливі постійного електричного поля, ефективність нових конструктивних рішень захисту від руйнування досліджували за спеціально розробленими методами. Характеристики електричного поля від розділення зарядів у конструкціях і спорудах досліджували у відповідності до спеціально розроблених методик і схем вимірювань.

**Четвертий розділ** присвячено розробленню нових теоретичних уявлень про змінення властивостей ґрунтовмісних матеріалів в умовах надлишкових зарядів, що призводить до зниження їх міцності й в'язкості, підвищення набухання, виникнення зсувів та аномально тривалих повеней.

Згідно з колоїдно-хімічними уявленнями взаємодія між гідрофобними частинками дисперсної фази визначається теорією розклинювального тиску ДЛФО (Дерягін-Ландау-Фервей-Овербек). Однак істотною перешкодою для поширення закономірностей колоїдної хімії було обмеження розмірів її об'єктів – від 1 нм до 1 мкм, недосконалість теорії ДЛФО, у т.ч. зі структурною складовою, а також відмова від розгляду гетерокоагуляції між частинками з протилежно зарядженими поверхнями. Обмеженість практичного застосування теорії ДЛФО обумовлена тим, що більшість реальних матеріалів є електрогетерогенними, складаються із частинок з протилежними поверхневими зарядами або мають протилежно заряджені ділянки на їх поверхнях. У реальних ґрунтовмісних матеріалах на основі глинистих ґрунтів більша частина поверхні частинок має негативний поверхневий заряд, а менша – позитивний, що обумовлює виникнення сил притягання. Врахувати таку неоднорідність поверхні можна інтегральним показником – електроповерхневим потенціалом, який термодинамічно дорівнює роботі перенесення одиничного заряду ПВІ із об'єму на поверхню, а протиіона – із глибини розчину в центр заряду протиіонів ПЕШ. У зв'язку з цим для реальних ґрунтів у рівняння розклинювального тиску запропоновано ввести притягувальну силову складову за аналогією із формулою для плоского ПЕШ

$$-P_{\text{Э}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\Psi^2}{d^2} \left( \frac{B^2}{m^2} = \frac{B \cdot Кл}{m^3} = \frac{H}{m^2} \right), \quad (1)$$

де  $\Psi$  – електроповерхневий потенціал частинок, В;  $d$  – відстань між ними, м;  $\varepsilon$  – діелектрична проникність;  $\varepsilon_0$  – електрична стала.

При значній величині надлишкового заряду відбувається перезарядження частинки, раніше позитивно зарядженої, на негативно заряджену, що змінює величину і знак рівноважного електроповерхневого потенціалу. Велика кількість заряджених ділянок – потенціалвизначальних іонів або активних центрів – призводить до виникнення енергії дальності. Між частинками виникає дуже велика питома (на кожен 1 м<sup>2</sup> поверхні) сила електростатичного відштовхування, частинки розсуваються, прошар-

ки між ними заповнюються водою, відбувається набухання за рахунок надлишкового заряду на частинках і утворення одиничних (рис. 3, *a*) і загального (рис. 3, *б*) контактів. На рис. 3 зображено принципові схеми іон-дипольних взаємодій між потенціалвизначальними іонами  $\text{OH}^-$  і диполями молекул води. Через незначність відстаней між ПВІ поверхня частинок між ними прийнята плоскою.

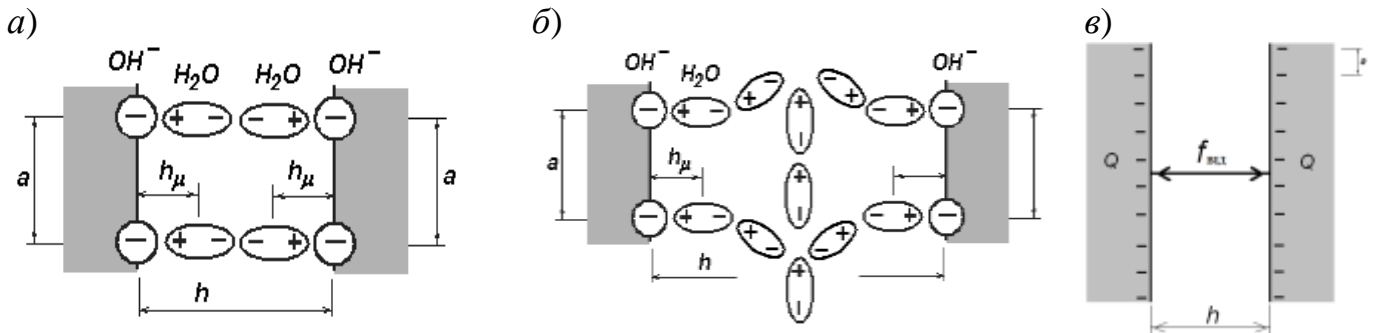


Рис. 3. Схема контактів між частинками ґрунтовмісного матеріалу, які накопичили надлишковий негативний заряд: *a* – первинний контакт; *б* – після розсунення; *в* – контакт між частинками при надлишковому негативному заряді

Сила відштовхування в одиничному контакті  $\text{OH}^-$ – $\text{OH}^-$  дорівнює

$$f_{\text{A}^2\text{A}} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot h^2}, \quad (2)$$

де  $e$  – заряд електрона, Кл;  $h$  – відстань між ПВІ, м.

При відстані між ПВІ  $20 \cdot 10^{-10}$  м і розмірі частинки кубічної форми 1 мкм питома (на 1 м<sup>2</sup> поверхні) сила електростатичного відштовхування, або напруження відштовхування, визначиться за формулою

$$\sigma_{\text{A}^2\text{A}} = \frac{0,719}{h^2}. \quad (3)$$

За розрахованими значеннями напружень відштовхування для різних відстаней між частинками побудовано криві на рис. 4. Відштовхування між частинками триватиме доти, доки напруження відштовхування не стане меншим від міцності ґрунтовмісного матеріалу (у водонасиченому стані близько 0,1 МПа). Орієнтовна відстань при цьому дорівнює 3,5 мкм для частинок розміром 1 мкм (рис. 4, *a*) і 12,5 мкм для частинок розміром 5 мкм (рис. 4, *б*). Відносне лінійне набухання становить відповідно 350 і 250 %. Розрахунок виконаний для зовнішніх шарів пакетів частинок мінералів типу каоліну. Як бачимо, каолінові глини, що вважаються малонабухаючими, при надлишковому негативному заряді стають сильно набухаючими. При цьому виявляється великий тиск набухання, що передається на конструкції в ґрунті й руйнує їх.

Зсуви видавлювання або такі, що розтікаються майже горизонтальною поверхнею, обумовлені накопиченням надлишкового негативного заряду на частинках ґрунту масиву за рахунок перенесення із нього катіонів до берега і в річку. У зсувах видавлювання сили відштовхування між глинистими частинками силами дальності передаються на весь масив зсуву, і він розвалюється на частини, розміри яких визначаються рівнянням рівності сил відштовхування й зчеплення.

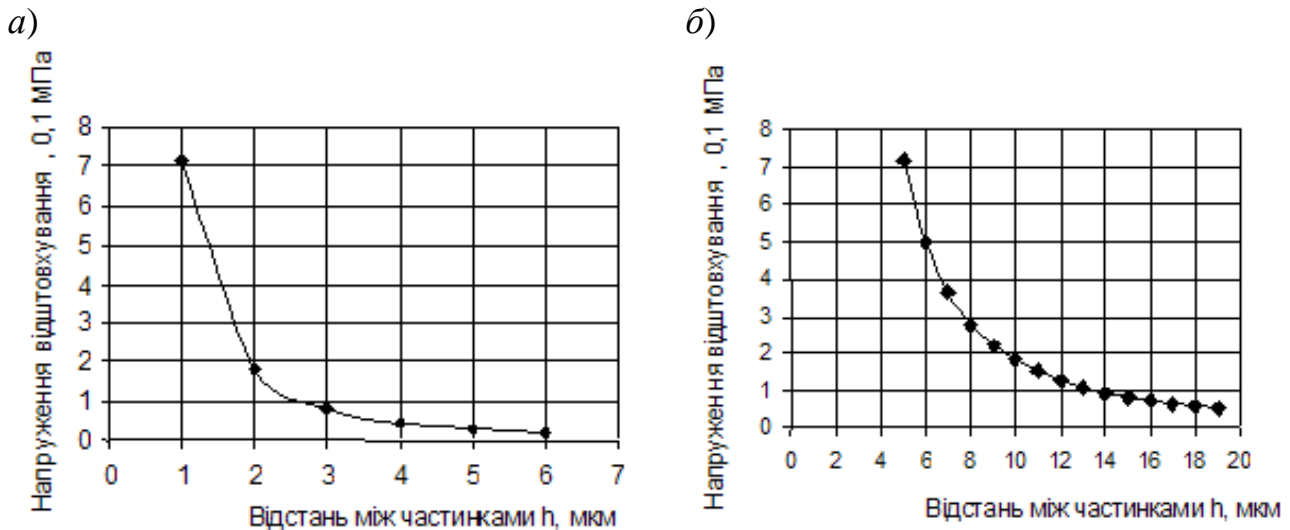


Рис. 4. Залежність напруження відштовхування від відстані між частинками розміром 1 мкм (а) та 5 мкм (б)

Вираз для сили відштовхування крайнього в масиві блока має вигляд

$$F_{\hat{A}\hat{A}} = E \cdot q \cdot S_{\times\hat{A}\hat{N}\hat{O}} \cdot N \cdot N_{\hat{A}\hat{I}\hat{A}}, \quad (4)$$

де  $E$  – напруженість електрополя між берегом і підвищеною частиною узбережжя, В/м;  $q$  – величина заряду на частинці, Кл;  $S_{\times\hat{A}\hat{N}\hat{O}}$  – площа поверхні частинки, м<sup>2</sup>;  $N$  – кількість частинок ґрунту в поперечному перерізі зсуву;  $N_{\hat{A}\hat{I}\hat{A}}$  – кількість частинок по довжині частини зсуву, яка відривається.

Зсуви в'язко-пластичного типу течуть без розриву й описуються рівнянням стаціонарного потоку при рівності електроміграційної сили зміщення зсуву  $f_{\hat{A}\hat{I}}$  і сили тертя  $f_{\hat{O}\hat{A}\hat{D}}$  по основі зсуву. Відповідно  $f_{\hat{A}\hat{I}}$

$$f_{\hat{A}\hat{I}} = \hat{A}^2 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot S_{\hat{C}\hat{N}} \cdot h_{\hat{C}\hat{N}}, \quad (5)$$

де  $E$  – напруженість електрополя між берегом і підвищеною частиною узбережжя, В/м;  $S_{\hat{C}\hat{N}}$  – площа перерізу зсуву, м<sup>2</sup>;  $h_{\hat{C}\hat{N}}$  – висота зсуву, м.

Виведено рівняння для швидкості зсуву в залежності від напруженості електрополя Землі

$$V = \frac{E^2 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot h_{\hat{C}\hat{N}}^2}{2\eta}. \quad (6)$$

При  $h_{\hat{C}\hat{N}} = 10$  м,  $E = 1000$  В/м,  $V = 0,28$  м/с, що відповідає реальній швидкості миттєвих зсувів.

Показано, що несподівані аномально тривалі повені в останні десятиліття в основному обумовлені накопиченням величезних надлишкових негативних зарядів на поверхні великих територій. При цьому виникає електроосмотичне підняття ґрунтової води за рахунок притягання її катіонів до негативного заряду на поверхні капілярів ґрунту. Розвинуто теоретичні уявлення про механізм зниження в'язкості й набу-



ханья глин в умовах надлишкового електричного заряду, що призводить до нейтралізації позитивно заряджених частинок і зникнення (зменшення) сил притягання між частинками.

Розроблено нові теоретичні уявлення про рушійні сили обвалення залізничних насипів і мостів у місцях із значним надлишковим зарядом. У насипах цей надлишковий заряд збільшується за рахунок його поляризації у напрямку берега річки, моря або великого водоймища, ґрунт верхньої частини насипу розпушується й обвалюється. На мостах або шляхопроводах у верхній частині насипу виникають значні сили відштовхування, що передаються на стояни, стояки або прогонові будови, які контактують з насипом, що призводить до обвалення цих конструкцій.

**П'ятий розділ** присвячено розвитку теоретичних уявлень про створення матеріалів і модифікування ґрунтовмісних матеріалів для умов надлишкового заряду Землі.

Показано, що структура (взаєморозташування складових частинок) ґрунтовмісних матеріалів може бути подана різними рівнями від субмікро- до мезоструктури залежно від розмірів частинок структуроутворюючих елементів, оточених матрицею з більш дрібних частинок. З урахуванням цього структура ґрунтовмісних матеріалів була охарактеризована, за аналогією з цементними розчинами та їх структурними характеристиками, коефіцієнтом розсунення зерен піску  $\mu$  і коефіцієнтом розсунення частинок глини  $\lambda$

$$\mu = \frac{V_{\text{чГ}} + B}{V_{\text{ПВС}}^{\text{П}}} = \frac{G_{\text{Гл}} \cdot \rho_{\text{НАС}}^{\text{П}}}{\text{П} \cdot \text{П}_{\text{ПВС}}^{\text{П}} \cdot \rho^{\text{ГЛ}}} \cdot \left(1 + \frac{B}{G_{\text{Гл}}} \cdot \frac{\rho^{\text{ГЛ}}}{\rho^{\text{В}}}\right), \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{B}{V_{\text{ПВС}}^{\text{ГЛ}}} = \frac{W_{\text{Гл}} \cdot \rho_{\text{НАС}}^{\text{ГЛ}}}{\text{П}_{\text{ПВС}}^{\text{ГЛ}}}, \quad (8)$$

де  $V_{\text{чГ}}$  – об'єм частинок глини, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{ІОН}}^{\text{І}}$  – об'єм пустот піску, м<sup>3</sup>;  $B$  – об'єм води в ґрунті, м<sup>3</sup>;  $G_{\text{Гл}}$  – маса частинок глини, кг;  $\rho^{\text{ГЛ}}$  – густина частинок глини, кг/м<sup>3</sup>;  $\text{П}$  – маса частинок піску, кг;  $\rho_{\text{ІАН}}^{\text{І}}$  – насипна густина піску, кг/м<sup>3</sup>;  $\text{І}_{\text{ІОН}}^{\text{І}}$  – пустотність піску, част.од.;  $\rho^{\text{В}}$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{ІОН}}^{\text{Ає}}$  – об'єм пустот глини, м<sup>3</sup>;  $W_{\text{Гл}}$  – вологість глини, част.од.;  $\rho_{\text{ІАН}}^{\text{Ає}}$  – насипна густина глини, кг/м<sup>3</sup>;  $\text{І}_{\text{ІОН}}^{\text{Ає}}$  – пустотність глини, м<sup>3</sup>.

Розроблено уявлення про механізм збільшення змочування водою поверхні твердих тіл під впливом надлишкового негативного заряду і відповідного збільшення сил латерального електроповерхневого відштовхування. Виведено рівняння для крайового кута змочування з урахуванням напруженості електрополя Землі, що впливає на величину рівноважного електроповерхневого потенціалу частинок. При максимальній напруженості електрополя 1000 В/м крайовий кут змочування зменшується в 3,6 рази.

Для розвитку уявлень про вплив електроповерхневих взаємодій і надлишкових зарядів Землі на реологічні властивості ґрунтовмісних матеріалів запропоновано доповнити рівняння Ейнштейна складовою  $\eta_{\text{єз}}$ , що враховує взаємодію частинок дисперсної фази з молекулами дисперсійного середовища,

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + \kappa\varphi) + \eta_{\text{ає}}. \quad (9)$$

Електроповерхневі властивості дисперсних систем з рідинним дисперсійним середовищем характеризуються електроповерхневим потенціалом, щільністю й концентрацією електроповерхневого заряду, дипольним моментом активних груп молекул дисперсійного середовища, площею поверхні частинок. При накопиченні частинками ґрунту (дисперсною системою) надлишкового негативного заряду до рівняння (9) вноситься з від'ємним знаком еквівалентний цьому заряду потенціал  $U$  від електрополя Землі в цьому місці

$$\eta_{\text{дс}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \cdot \mu^2 \cdot (\psi_{\text{дс}}^0 - U) \cdot S}{4\pi \cdot d \cdot ze}, \quad (10)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність середовища в зазорі між молекулою й активним центром на поверхні твердої частинки;  $\varepsilon_0$  – абсолютна діелектрична проникність;  $\psi_{\text{дс}}^0$  – електроповерхневий потенціал твердої фази, В;  $d$  – відстань між ПВІ на твердій поверхні і ПРІ з боку рідкої фази в ПЕШ, м;  $z$  – валентність ПВІ;  $\mu$  – дипольний момент, Кл·м.

Як видно, в'язкість залежить від співвідношення між  $|U|$  і електроповерхневим потенціалом  $\psi_{\text{дс}}^0$  частинок. При  $|U| \geq \psi_{\text{дс}}^0$  в'язкість ґрунтовмісних систем за рахунок взаємодії частинок наближається або дорівнює в'язкості води.

Розроблено уявлення про механізми виникнення потенціалу течії при нагнітанні в ґрунтовмісний матеріал розчину силікату натрію й виникнення надлишкового негативного заряду, створеного струмом витоку з рейок. При цьому обґрунтовано, що потенціал течії, який виникає при нагнітанні, гальмує потік розчину і відповідно зменшує глибину його проникнення у водонасичений дрібний пісок (рис. 5). Під впливом тиску  $P$  вода протікає з більш високою швидкістю, ніж частинки силікату натрію (через їх набагато більші розміри, ніж у молекул води), захоплюючи за собою гідратовані нею протиїони (катіони  $\text{Na}^+$ ) дифузної частини ПЕШ. При цьому на виході з ін'єктора виникає надлишок позитивних протиїонів, а всередині ін'єктора – надлишок негативних, відповідно виникає різниця потенціалів  $E$ , яка і є потенціалом течії.

Із схеми на рис. 6 видно, що при появі позитивного потенціалу на рейках від рухомого потяга з електротягою катіони дифузної частини ПЕШ на поверхні капілярів ґрунтовмісного матеріалу переміщуються до підніжжя укусу споруди (залізничного насипу) й звідти розтікаються в ньому за дифузійним механізмом. У результаті біля підніжжя укусу накопичується надлишковий позитивний потенціал, а нагорі – негативний по відношенню до нього. Надлишковий негативний заряд на частинках ґрунтовмісного матеріалу зверху укусу, особливо глинистих, призводить до відштовхування частинок, зменшення зв'язків між ними й зниження динамічної в'язкості ґрунтовмісного матеріалу. У результаті під дією електрофорезу негативно заряджених глинистих частинок у бік позитивно зарядженої нижньої частини насипу виникає швидке сповзання верхнього шару укусу.

Для цих умов виведено рівняння зсувної сили під впливом електрофорезу. При напруженості електрополя вздовж укусу  $E = U/L$ , В/м, електроміграційна сила, що стягує всі частинки в цьому масиві, дорівнює

$$F_{\vec{A}\vec{E}} = E \cdot Q, \quad (11)$$

де  $Q$  – загальний заряд усіх частинок, Кл.

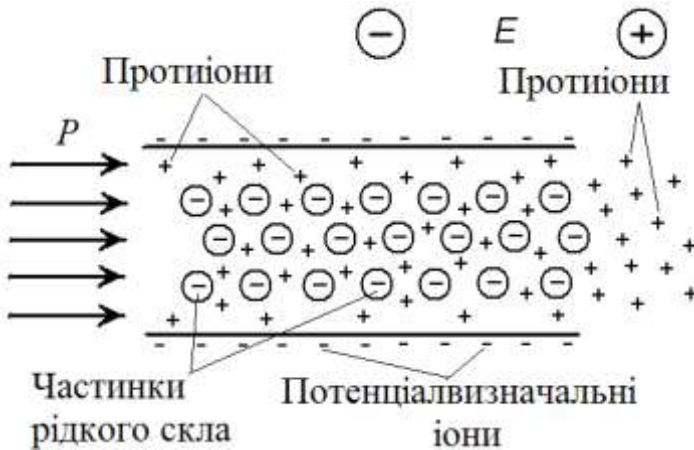


Рис. 5. Схема виникнення потенціалу течії при нагнітання в ґрунтовмісний матеріал розчину силікату натрію

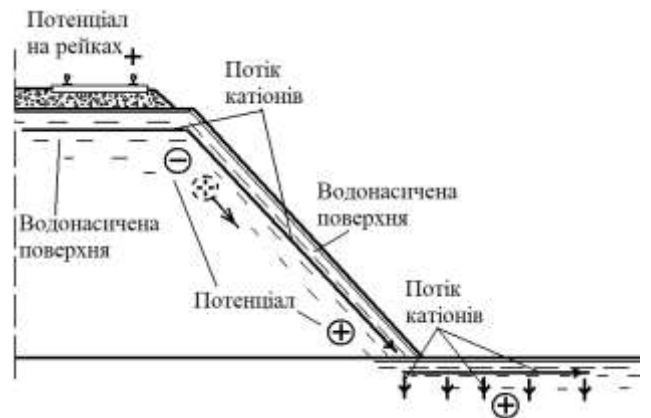


Рис. 6. Схема виникнення надлишкового негативного заряду за наявності струму витoku з рейки

На графіку змінення електроміграційної сили  $F_{\vec{A}\vec{E}}$  (рис.7, крива лінія) залежно від крупності частинок ґрунтовмісного матеріалу (на довжині ділянки 10 м) у точці перетину цієї кривої з горизонтальною прямою утримуючої сили  $F_{\vec{O}\vec{D}\vec{B}}$  сила  $F_{\vec{A}\vec{E}}$  стає рівною вазі ґрунтовмісного матеріалу. Цьому відповідає розмір глинистих і пілуватих частинок ґрунтовмісного матеріалу  $d = 8$  мкм, що роблять найбільший внесок у його питому поверхню.

Відхилення напруженості електрополя Землі від її середньої величини (надлишковий заряд) ураховано в рівнянні (11) додатковою складовою  $\Delta U$

$$F_{\vec{A}\vec{E}} = (U + \Delta U) \cdot Q. \quad (12)$$

Величина  $\Delta U$  порівняна з  $U$  і може перевищити її в кілька разів. Така різниця потенціалів, що виникає при фільтрації води, струмах витoku й електрополях Землі, призводить до електрофоретичного зміщення частинок ґрунтовмісного матеріалу й зсуву (рис. 8).

На відміну від відомих уявлень традиційної колоїдної хімії, де вважається, що електрофорез відбувається від зовнішньої різниці потенціалів, показано, що сили, які зрушують частинки ґрунтовмісного матеріалу, обумовлені полем поляризації. Основною характеристикою діелектричних особливостей ґрунтів є їх діелектрична проникність, яка може бути визначена як відношення напруженості зовнішнього електричного поля  $E_0$  до результуючої напруженості поля всередині діелектрика  $E_{D\vec{A}\vec{C}}$

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_{PEZ}} = \frac{E_0}{E_0 - E_{ПОЛ}}, \quad (13)$$

де  $E_{\text{III}\bar{E}}$  – напруженість електростатичного поля поляризованого масиву із ґрунтовмісного матеріалу, В.

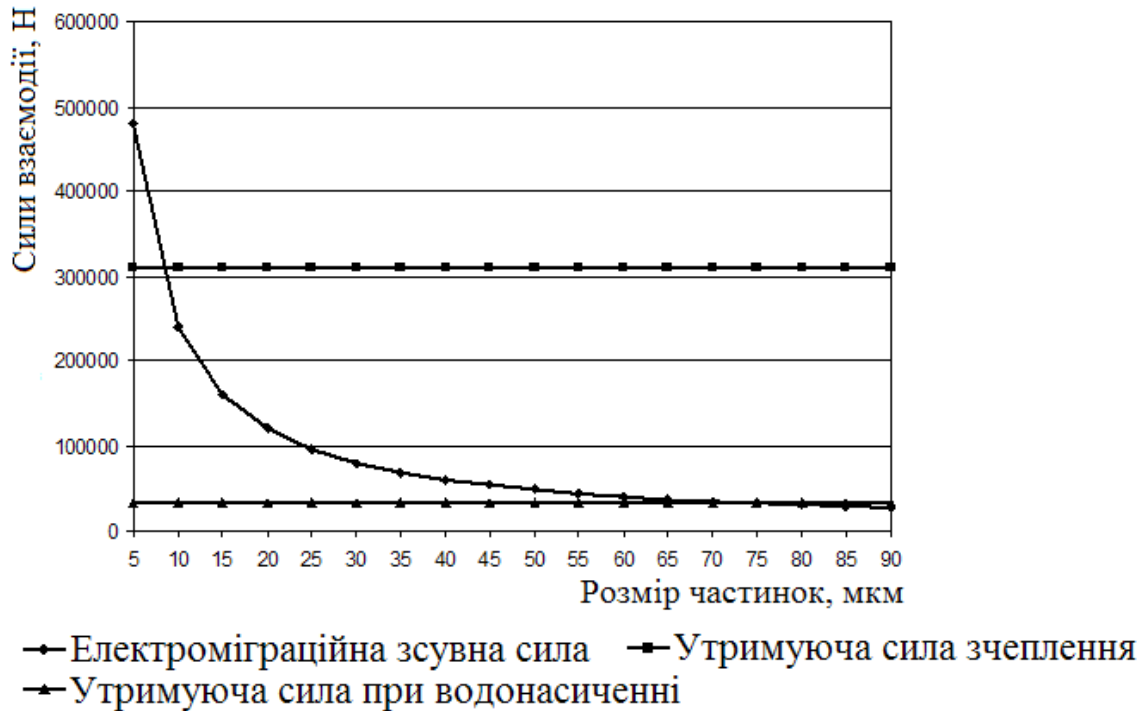


Рис. 7. Електроміграційна зсувна (крива лінія) і перешкоджаючі (прямі лінії) сили, що діють на шар ґрунтовмісного матеріалу укосу

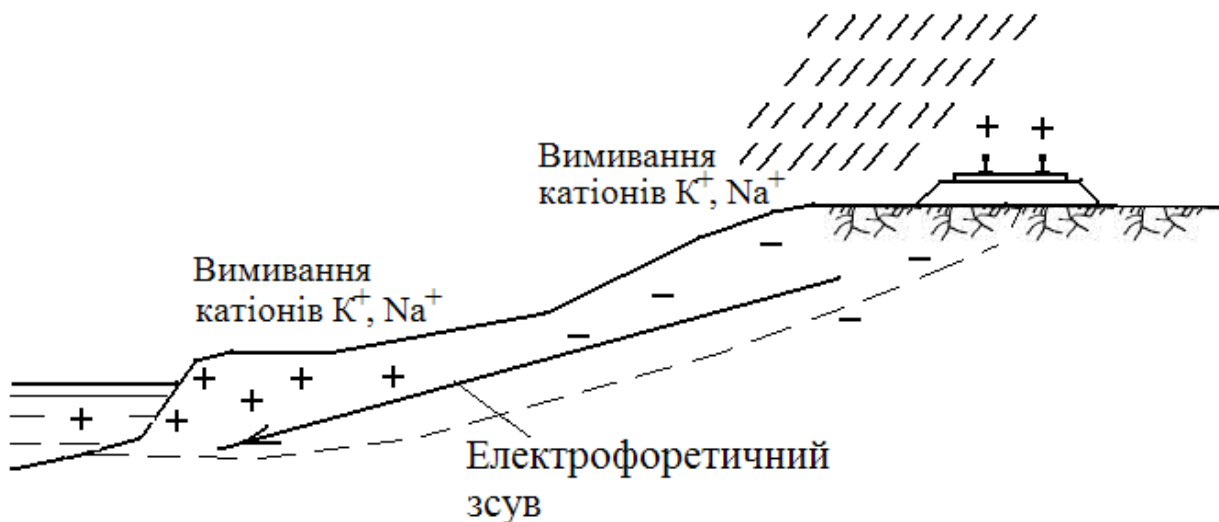


Рис. 8. Схема зсуву на схилі під впливом надлишкових зарядів і струму витoku з рейкової колії

Перетворивши вираз (13), отримаємо

$$E_{\text{ПОЛ}} = \frac{\varepsilon \cdot E_0 - E_0}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot E_0. \quad (14)$$

Величина визначеного потенціалу є результуючою і при високій діелектричній проникності ґрунтовмісного матеріалу або бетону є дуже маленькою. Усі виміряні потенціали на поверхні ґрунту та бетону або кам'яної кладки незначні – кілька вольт або навіть менше 1 В. Тому розрахунок сили електрофорезу глинистих частинок слід вести за величиною напруженості поля поляризації, у результаті чого розраховані сили стають дуже великими і наближаються до дійсних значень. Особливо важливо враховувати цей фактор для бетонів і розчинів, а також розчину силікату натрію та його композицій, у яких діелектрична проникність  $\varepsilon$  є гігантською через величезний дипольний момент, що виникає на дуже високодисперсних частинках.

Під впливом такого постійного електрополя відбувається винос протиіонів з подвійного електричного шару в капілярах ґрунтовмісного матеріалу. Сутність цього виносу полягає в тому, що крайові (контурні) протиіони на виході з капіляра перебувають у рівноважному стані, при якому електроміграційна сила  $F_{\text{ЕЛ}}$ , що виштовхує протиіони, дорівнює силі притягання до потенціалвизначального іона, яка утримує їх у подвійному електричному шарі. Тому електроміграційна сила, яка обумовлена дією електрополя й переміщує всі протиіони капіляра в бік його нижнього кінця, передається на крайові протиіони і відриває їх, у зв'язку з чим в об'ємі капіляра буде виникати в еквівалентній кількості надлишок негативного заряду (рис. 9).

Поряд з виносом протиіонів з повздовжніх капілярів відбуватиметься дифузійним шляхом винесення протиіонів з поперечних капілярів. Це призведе до виникнення відштовхування між частинками ґрунтовмісного матеріалу, що утворюють капіляри, і його розрідження. У випадку ґрунтовмісного матеріалу на основі суглинків це також призведе до втрати зчеплення між частинками. Такий ефект виносу протиіонів з капілярів ґрунту полегшить переміщення частинок ґрунтовмісного матеріалу й сповзання укусу, збільшить швидкість цих процесів. Час виносу протиіонів визначиться часом їх переміщення на відстань  $a_0$ , яка дорівнює відстані між протиіонами в ПЕШ, та загальною кількістю протиіонів по довжині укусу. Час переміщення протиіонів у свою чергу визначиться рівністю сили латерального електроповерхневого відштовхування  $F_{\text{ЛАТ}}$  між протиіонами й сили тертя  $F_{\text{ТЕР}}$  по лінії ковзання між шарами води при її зміщенні вздовж капіляра (рис. 10).

Збільшення сили відштовхування при негативному надлишковому заряді, потенціалі течії й електрофорезі глинистих частинок у поверхневому шарі укусу визначиться за формулою

$$P_{\text{А}^2\text{А}} = \frac{U \cdot q}{\delta}, \quad (15)$$

де  $q$  – щільність надлишкового поверхневого заряду, Кл/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – відстань між частинками, м.

При вимірній величині потенціалу на укосі  $U = 0,1$  В величина відштовхування  $P_{\text{А}^2\text{А}}$  становить 0,2 МПа, що на порядок перевищує величину питомого зчеплення глинистого ґрунту (0,031 МПа) та зумовлює його розрідження в умовах відсутності зволоження.

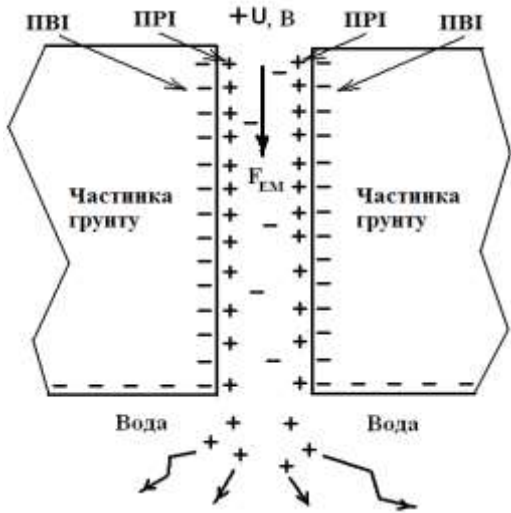


Рис. 9. Електроміграційний винос протиіонів з капіляра ґрунту

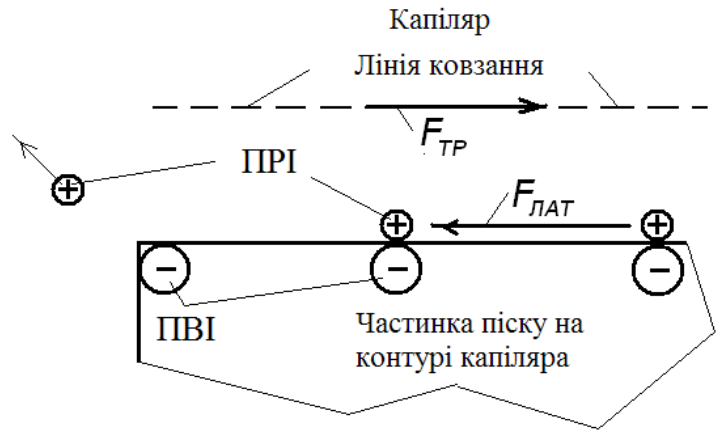
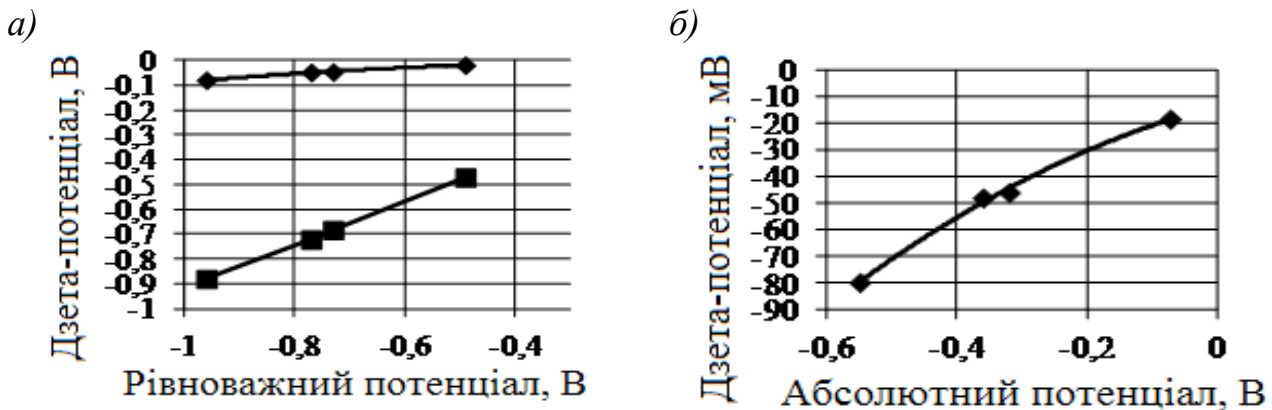


Рис. 10. Схема відриву протиіонів з ребра частинки піску й виникнення сил  $F_{Л\text{АТ}}$  і  $F_{Т\text{Р}}$

У шостому розділі наведено результати лабораторних експериментальних досліджень впливу надлишкових електричних зарядів на властивості композиційних ґрунтовмісних матеріалів і бетонів.

Дослідження електроповерхневих властивостей (електроповерхневого потенціалу, потенціалу течії, поверхневого натягу, крайового кута змочування) підтвердило гіпотезу, що в основі забезпечення міцності й стійкості ґрунтовмісних матеріалів лежать уявлення про електроповерхневий потенціал взаємодіючих речовин та фізико-хімічні процеси, що відбуваються на їх поверхні. На рис. 11 наведено залежності величин електрокінетичного потенціалу від величин абсолютного й рівноважного електроповерхневих потенціалів досліджуваних матеріалів.



—◆— —  $\zeta$ -потенціал, В; —■— — потенціал щільної частини ПЕШ  $\psi_1$ , В

Рис. 11. Залежність між електроповерхневими потенціалами й електрокінетичним  $\zeta$ -потенціалом для зразків ґрунтовмісних матеріалів різного хімічного складу

У роботі виконано дослідження властивостей матеріалів на макромоделях. Результати вимірювання потенціалу течії глиновмісних матеріалів у трубках довжи-

ною 1 м наведено на рис. 12. Згідно з графіком на рис. 12 на ділянці довжиною 20 см спостерігається перехід потенціалу в додатний бік, амплітуда змінення становить близько 40 мВ. Це обумовлено скупченням у цьому місці надлишкового заряду від перенесених з потоком води протиіонів (катіонів), які утримуються від виносу потоком води негативним потенціалом на протилежному кінці трубки (рис. 5). З урахуванням цього різниці потенціалів, тобто дійсний потенціал течії, досягає 100 мВ. Такі явища виникають при будь-якому русі рідини через дисперсні тіла, наприклад при закріпленні споруд і масивів із ґрунтовмісних матеріалів методами ін'єктування. При збільшенні відстані відбувається спочатку нейтралізація потенціалу, а потім зростання його величини, що підтверджує розвинуті уявлення про виникнення власного поля поляризації в ґрунтах.

Збільшення проникної здатності композиції на основі розчину силікату натрію забезпечували введенням добавки аніонного поліелектроліту. Згідно з рис. 13 при збільшенні кількості добавки збільшується поверхневий натяг розчину, що свідчить про диспергування його вихідних частинок і взаємодію з частинками поліелектроліту з утворенням електрогетерогенних контактів між ними із загальним шаром протиіонів.

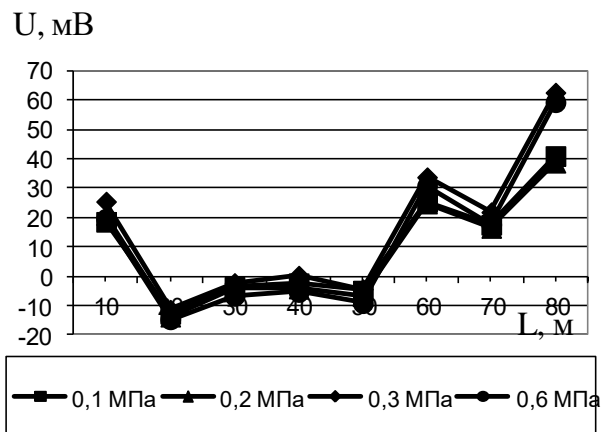


Рис. 12. Залежність потенціалу течії від відстані між електродами при різних величинах тиску

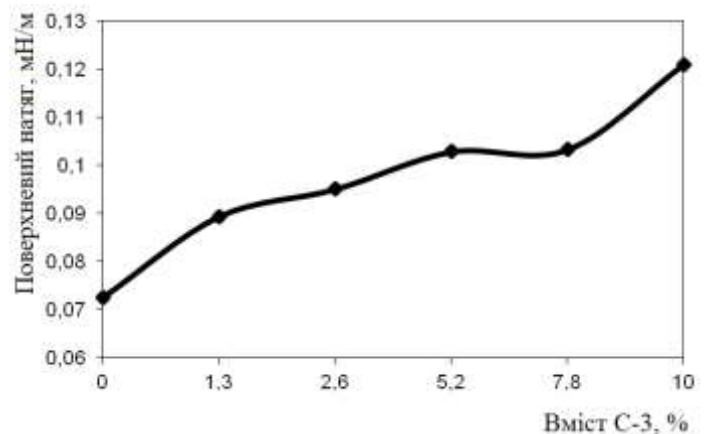


Рис. 13. Залежність поверхневого натягу розчину силікату натрію від вмісту добавки

Витиснутий із контакту надлишковий катіон буде нейтралізувати негативний надлишковий заряд за межами цих контактів. Виниклі в подальшому при твердінні композиції на основі розчину силікату натрію ЕГК закріплюють таку структуру, роблять її водостійкою й міцною, що підтверджено проведеними в роботі експериментальними дослідженнями. Фізико-хімічне зв'язування молекул аніонного поліелектроліту високодисперсною фазою водостійкої композиції на основі розчину силікату натрію забезпечує безпечність даного матеріалу для навколишнього середовища.

У результаті дослідження реологічних властивостей матеріалів підтверджено вплив електроповерхневого потенціалу твердої фази  $\psi_{Af}^0$ , а отже надлишкового негативного заряду, на орієнтацію і структурування молекул дисперсійного середовища, що проявилось в отриманій залежності динамічної в'язкості від об'ємного вмісту

в'язжучих, що мають різні значення  $\psi_{AI}^0$  (рис. 14). При виникненні надлишкового негативного заряду у водному розчині вапна, цементу або гіпсу позитивний електроповерхневий потенціал їх частинок значно зменшується, що суттєво зменшує в'язкість, аж до текучого стану. Це підтверджує перехід у в'язкотекучий стан ґрунто-вмісних матеріалів у спорудах і укосах у зоні надлишкового негативного заряду.

Динамічна в'язкість  $\eta$ , мПа·с

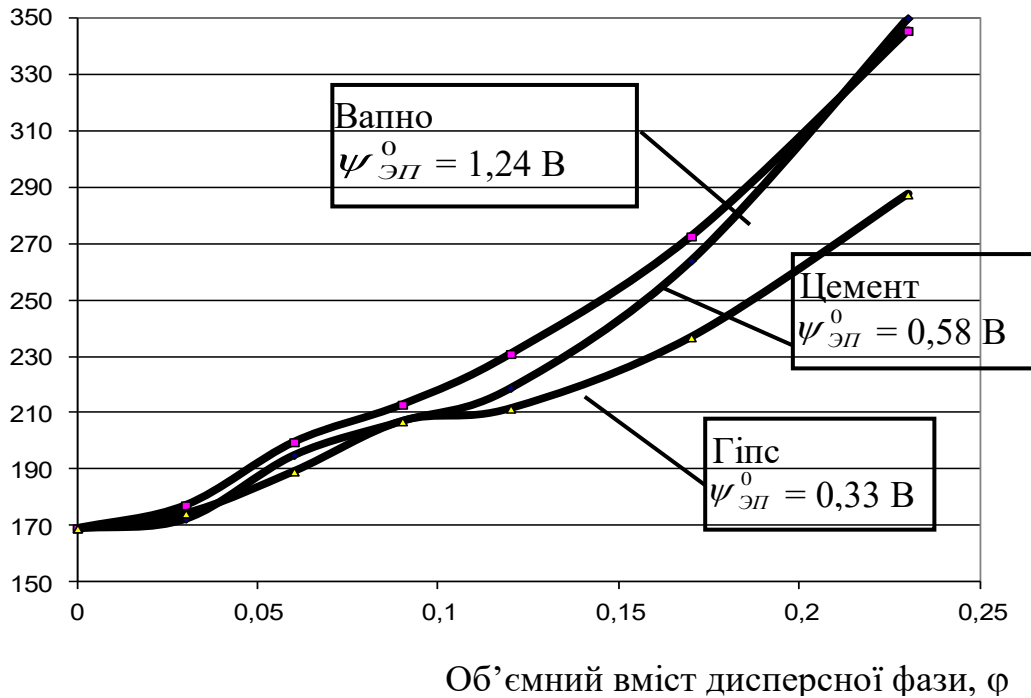


Рис. 14. Зміна динамічної в'язкості суспензій мінеральних в'язжучих залежно від об'ємного вмісту дисперсної фази

При дослідженні впливу кількості добавки аніонного поліелектроліту на умовну в'язкість розчину силікату натрію спостерігався спад до мінімуму при її вмісті  $\approx 1\%$  і потім зростання до максимуму при вмісті  $\approx 10\%$ . Спад в'язкості при  $1\%$  обумовлений перезарядженням поверхні частинок з позитивним зарядом, наявних у силікаті натрію. При подальшому збільшенні кількості добавки в'язкість зростає, що підтверджує уявлення про диспергування частинок силікату натрію й сприяє його проникненню в більш дрібні піски. Первинне зменшення в'язкості з подальшим її підвищенням підтверджено вимірами крайового кута змочування.

Для підтвердження уявлень про виникнення й величину потенціалу при фільтрації води крізь дисперсні системи було проведено вимірювання різниці потенціалів при двох режимах – вологості на границі розкочування й вологості на границі усушки на лабораторній моделі ґрунтового масиву (рис. 15). Результати визначення різниці потенціалів між верхнім і нижнім електродом наведено на рис. 16. При цьому абсолютна величина змінення потенціалу при фільтрації води досягає 300 мВ. При вологості на границі розкочування потенціал на всіх трьох електродах зміщується в область від'ємних значень. Це пояснюється тим, що при фільтрації протиіони дифузної частини ПЕШ захоплюються потоком води і переміщуються вниз по моделі.



Накопичення внизу надлишкової кількості катіонів, а вгорі – аніонів реєструється вольтметром як зміщення знака потенціалу в область від'ємних значень.



Рис. 15. Модель для вивчення зміння властивостей ґрунтовмісних матеріалів в умовах накопичення надлишкових зарядів

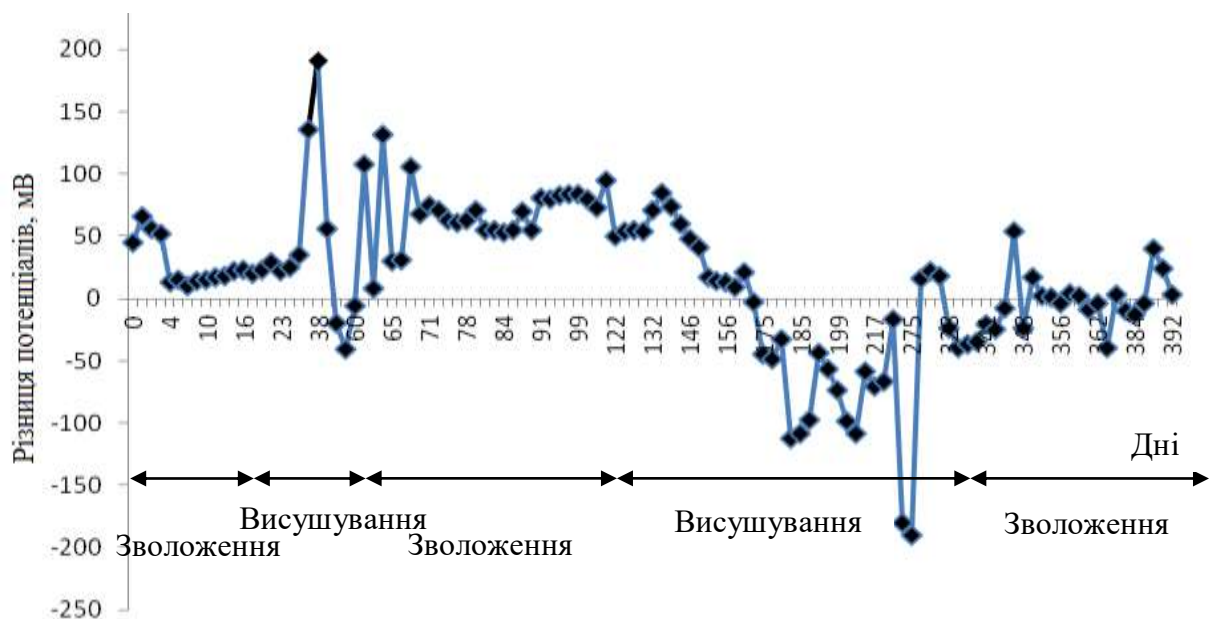


Рис. 16. Зміння різниці потенціалів течії між верхнім і нижнім електродами при режимах поперемінного зволоження-висушування

При висушуванні починається відновлення електронейтральності ПЕШ за рахунок дифузії катіонів угору капілярами слідом за водою, яка випаровується. Це призводить до вирівнювання різниці потенціалів і зміщення їх величин в область додатних значень. За деформаціями моделі укусу стежили за величиною нахилу деформаційних марок, встановлених у 42 точках моделі ґрунтового масиву. Вимірювання потенціалу течії й деформацій на моделі укусу та при натурних дослідженнях підтвердили, що основна причина сповзання укусів – накопичення різних за знаком потенціалів внизу й угору укусу або схилу.

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що усунення накопичення різниці потенціалів при фільтрації води схилом можливе за рахунок встановлення в масивах із ґрунтовмісних матеріалів матеріалів-провідників, здатних пропускати виникаючий струм крізь себе й підтримувати таким чином електронейтральність системи. Для запобігання накопичення надлишкових зарядів було проведено дослідження виду й матеріалу шунта для запобігання зсувів (рис.17, 18). Встановлення шунта у вигляді сталевий смуги (рис. 18) призводить до більш тривалого ефекту нейтралізації накопиченої різниці потенціалів, порівняно з шунтом у вигляді мідного дроту (рис. 17).

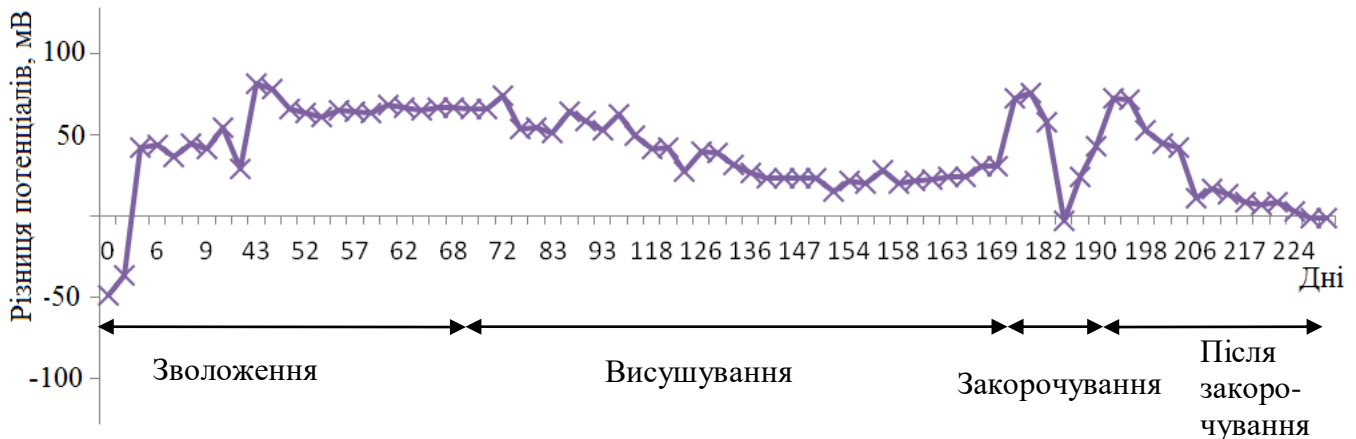


Рис. 17. Змінення різниці потенціалів течії між верхнім і нижнім електродами з мідним шунтом при режимах поперемінного зволоження-висушування

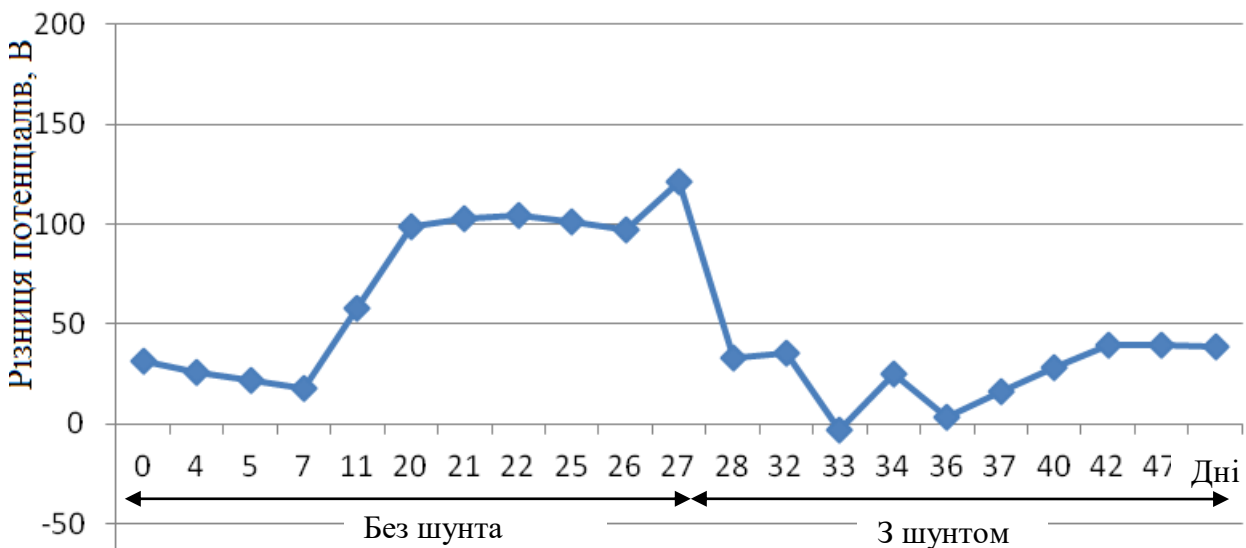


Рис.18. Змінення різниці потенціалів течії між верхнім і нижнім електродами зі сталевим шунтом

Процеси поляризації мідного шунта почалися на 170-ту добу випробувань і проявилися у вигляді збільшення стрибків вимірюваних потенціалів (рис. 18, ділянка «Закорочування») і відхилення різниці потенціалів від стабільного значення. Після зняття власної поляризації мідного шунта процес нейтралізації продовжився (рис. 18, ділянка «Після закорочування»). Одним із методів зняття різниці накопичених заря-

дів є створення зовнішнього поля, спрямованого протилежно поляризовуючому. Проведено експериментальні дослідження залежності виникаючої поляризації ґрунту при різних значеннях напруженості зовнішнього електричного поля. Результати вимірювань наведено на рис. 19.

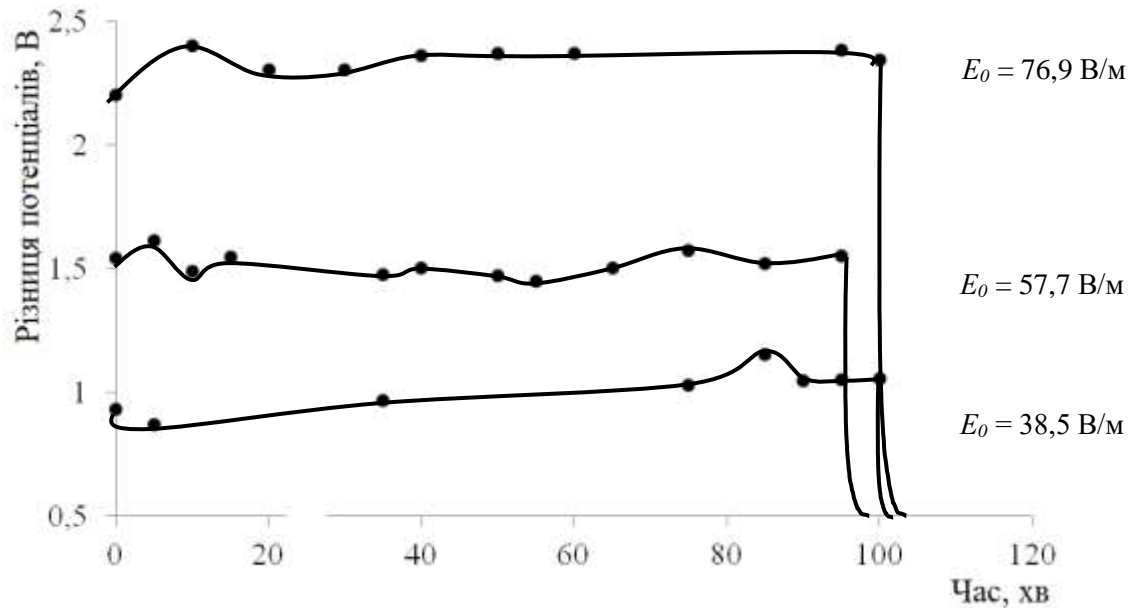


Рис. 19. Залежність змінення різниці потенціалів від напруженості зовнішнього електричного поля  $E_0$  з часом

При накладенні зовнішнього електричного поля в масиві із ґрунтовмісного матеріалу створюється внутрішнє поле поляризації. Величини вимірюваних різниць потенціалів при цьому відрізнялися на три порядки від величин потенціалів без накладення зовнішнього електричного поля. Після відключення джерела струму вимірювана різниця потенціалів миттєво зменшувалася в 10 разів, а потім поступово спадала до вихідних величин. Залежність поляризаційної напруженості  $E_{пол}$  ґрунтовмісного матеріалу від напруженості зовнішнього електричного поля  $E_0$  наведена на рис. 20.

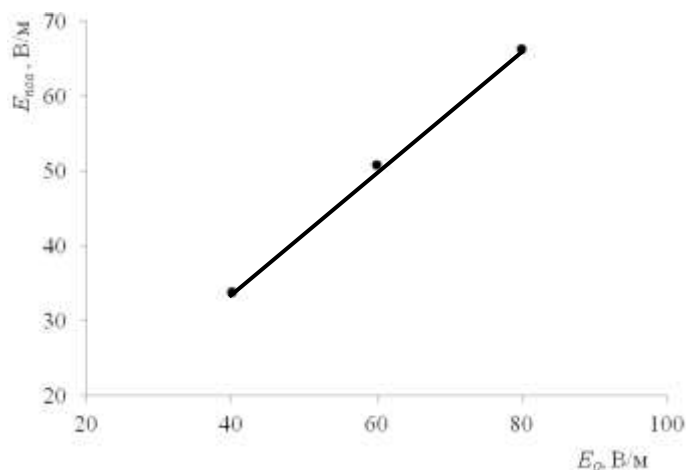


Рис. 20. Залежність поляризаційної напруженості  $E_{пол}$  ґрунтовмісного матеріалу укосу від напруженості зовнішнього електричного поля  $E_0$

Для виявлення структурних і фазових змін у ґрунтовмісному матеріалі при фільтрації води було виконано фізико-хімічні дослідження за допомогою комплексу методів – світлової та електронної мікроскопії, рентгенофазового аналізу, аналізу інфрачервоних спектрів. Аналізували структуру зразків вихідного ґрунтовмісного матеріалу на основі глини, а також зразків, відібраних із різних частин моделі укусу – верху, середини, низу. Згідно з оптико-мікроскопічними знімками структура вихідного зразка ґрунтовмісного матеріалу є дрібнозернистою, характеризується однорідністю розподілу дрібних частинок і кольору, у той час як структура зразків верху, середини і низу укусу – більш пориста та пухка. Результати дослідження фазового складу ґрунтовмісного матеріалу із укусу методом рентгенофазового аналізу наведено на рентгенограмах (РГ), рис. 21. Найбільш інтенсивні лінії на РГ відносяться до кварцу (Кв), що міститься в ґрунтовмісному матеріалі, і каоліну (Гл).

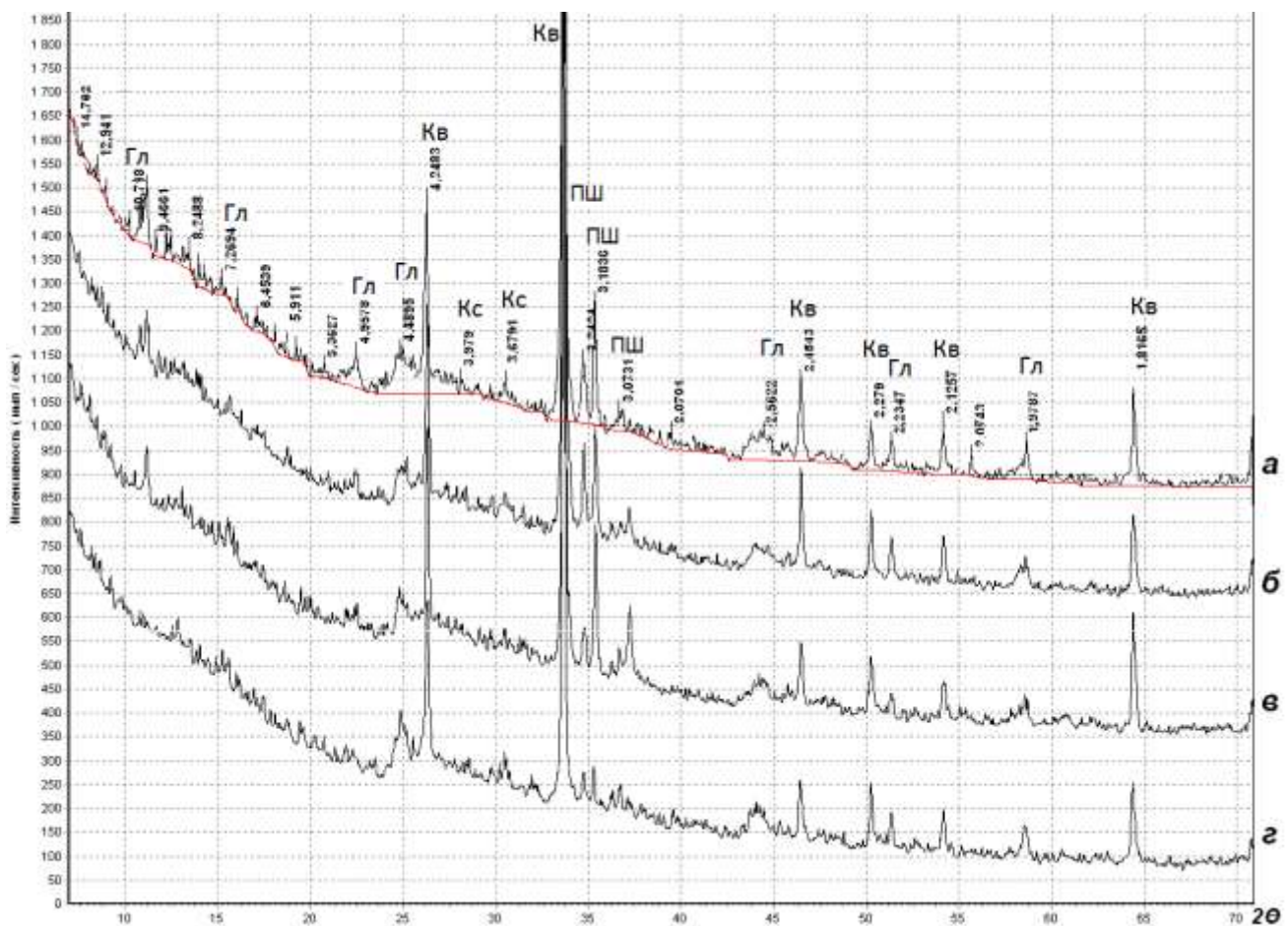


Рис. 21. Рентгенограми зразків тонкодисперсної фракції ґрунтовмісного матеріалу: *а* – вихідного; *б* – з верхньої частини укусу; *в* – із середньої частини укусу; *г* – з нижньої частини укусу

Інтенсивність дифракційних відображень каоліну (0,714; 0,357; 0,214 нм), а також ліній монтморилоніту (0,447; 0,26; 0,151 нм), наявні у вихідному ґрунтовмісному матеріалі, зростає в нижній частині схилу, а інтенсивність ліній іліту, навпаки, зменшилася, що свідчить про нижченаведені структурні зміни в матеріалі. Латеральні сили відштовхування між протиіонами дифузної частини ПЕШ на поверхні частинок

грунтовмісного матеріалу виштовхують іони із середини шарів до країв. З виносом проточною водою крайніх протиіонів, на їх місце виштовхуються нові. Це призводить до збільшення сил електростатичного відштовхування між частинками глини, негативний заряд яких уже не компенсується протиіонами. У таку пухку структуру проникають гідратовані іони, змінюючи структуру до каолініто- або монтморилонітоподібної. Таким чином, рентгенофазовий аналіз підтвердив, що в поверхневих шарах схилів і насипів виникають надлишкові заряди – негативні вгорі й позитивні знизу – за рахунок переміщення катіонів потоком води зверху вниз. В електрополі цих зарядів відбувається електрофорез глинистих частинок схилом.

Інфрачервоні спектри (ІЧС) поглинання зазначених зразків наведено на рис. 22. ІЧС вихідного ґрунтовмісного матеріалу, а також матеріалів після фільтрації води крізь них, відрізняються появою смуги  $3623\text{ см}^{-1}$ , яка обумовлена ОН-коливаннями молекул адсорбованої води, які беруть участь у водневих зв'язках, що властиво каоліну. На ІЧС матеріалів із усіх зон укосу наявні смуги  $1436$  і  $1600\text{ см}^{-1}$ , що свідчить про перебування в зразку монтморилоніту Са-форми, тому на ІЧС монтморилоніту На-форми смуга  $1436\text{ см}^{-1}$  відсутня. Таким чином, ІЧС підтверджує рентгенівські дані про наявність у досліджуваному матеріалі основних глинистих складових – каоліну й монтморилоніту, причому Са-форми.

Повна відповідність фазового складу, визначеного за допомогою рентгенофазових та інфрачервоноспектроскопічних досліджень однозначно підтверджують розвинені теоретичні уявлення про виникнення в укосі надлишкових електричних зарядів при проходженні крізь його води як одного з факторів виникнення надлишкових зарядів і електрополя Землі.

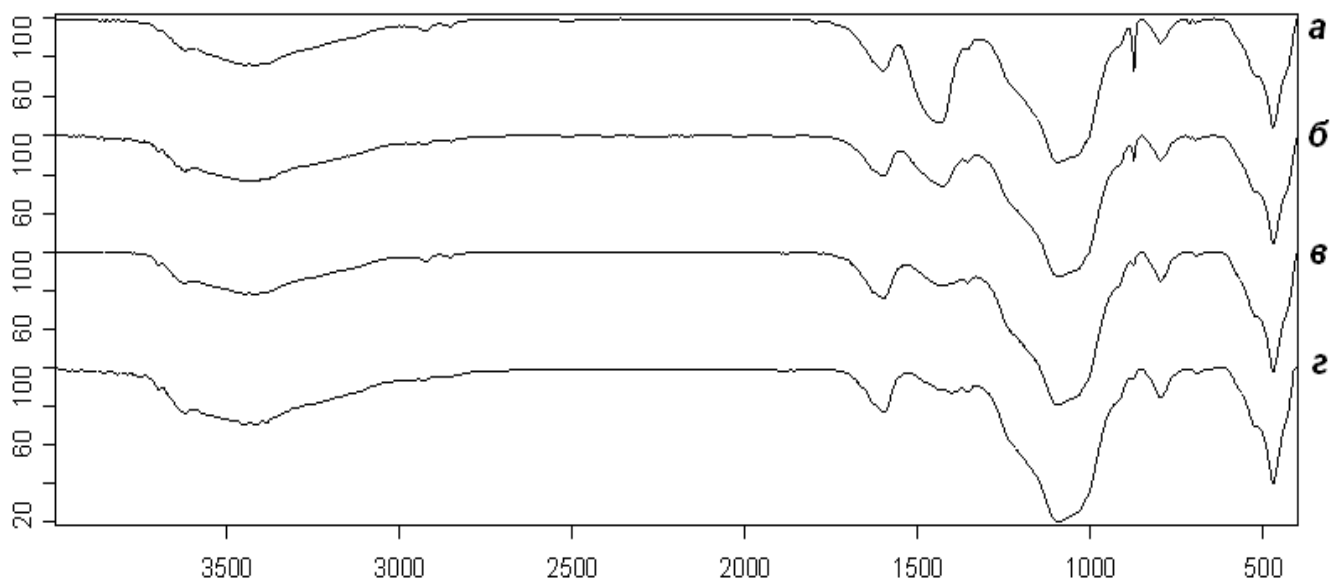


Рис. 22. ІЧС зразків тонкодисперсної фракції ґрунтовмісного матеріалу: *а* – з верхньої частини укосу; *б* – із середньої частини укосу; *в* – з нижньої частини укосу; *г* – вихідного

Для підтвердження структурних змін ґрунтовмісних матеріалів під впливом електричного поля, що виникає при фільтрації води крізь споруди й масиви із них, виконано дослідження методом електронної мікроскопії. За рахунок виносу проти-

іонів дифузної частини ПЕШ при продавлюванні рідини крізь пористу дисперсну систему виникає потенціал течії, що викликає перенесення речовини за електроміграційним та електрофоретичним механізмами. Як показують результати досліджень, спостерігається відмінність у структурі зразків ґрунтовмісних матеріалів вихідних та з різних частин укосу (рис. 23). На знімках зразків із верху укосу видно більш шарувату структуру з відстанню між шарами 2...5 мкм (рис. 23, б), чого не спостерігається на вихідних зразках (рис. 23, а). Це викликано відштовхуванням однойменно заряджених частинок ґрунтовмісного матеріалу при вимиванні протиіонів ПЕШ. Зразки із середини укосу (рис. 23, в) та його нижньої частини (рис. 23, г) мають велику пористість і розділяються на окремі пластівчасті частинки, що пов'язано з відштовхуванням дифузної частини ПЕШ на частинках при накопиченні за рахунок виносу з верху укосу.

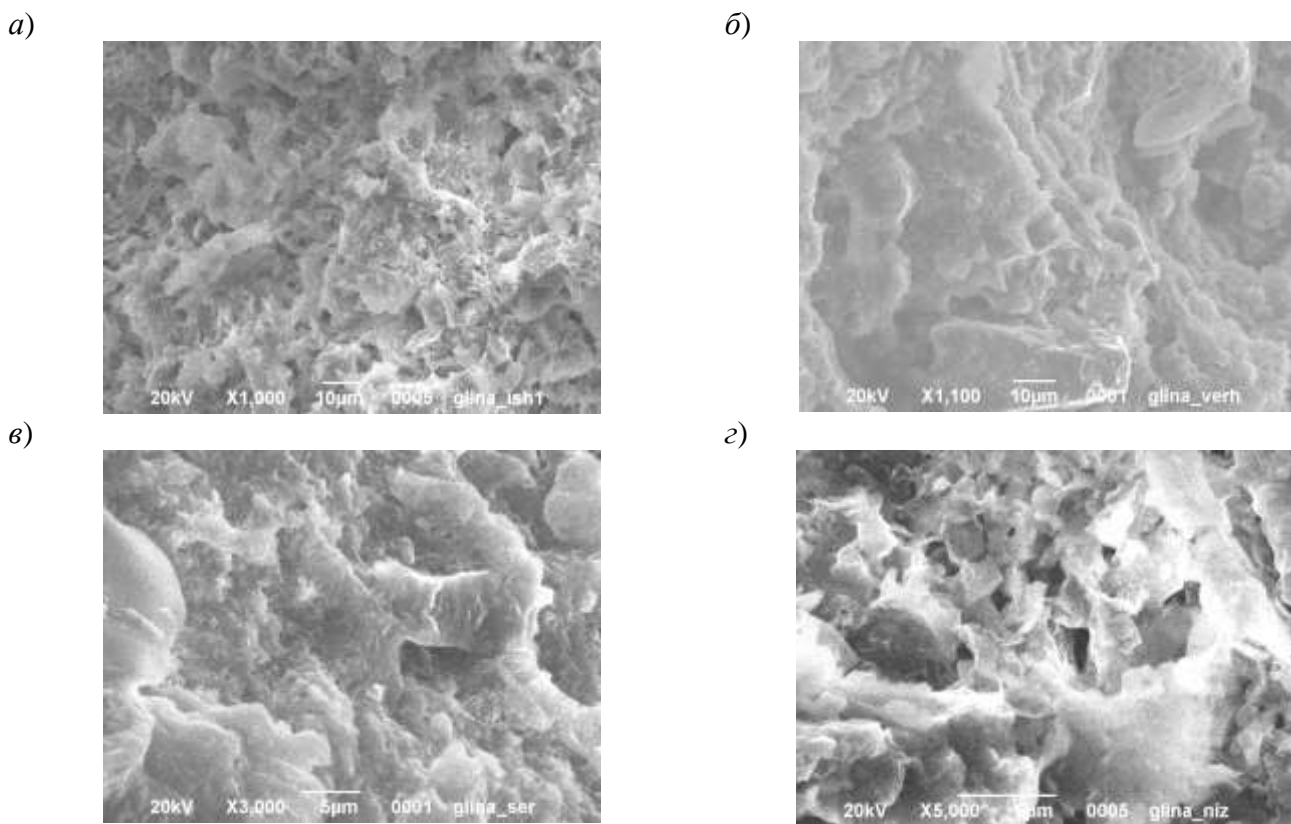


Рис. 23. Електронномікроскопічні знімки зразків ґрунтовмісного матеріалу вихідного (а), з верхньої (б), середньої (в) і нижньої (г) частин укосу

Виконано експериментальні дослідження величин надлишкових зарядів та їх руйнівного впливу на конструкції об'єктів залізничного транспорту – водопрпускну труби, шляхопроводу, пасажирської платформи, будівлі музею. Кожний об'єкт є показовим прикладом накладення декількох впливів, якими традиційно нехтують при розрахунку довговічності споруд через їх незначність, але які при спільній дії призводять до непередбачених наслідків і руйнування конструкцій. При обстеженні шляхопроводу було проведено заміри різниці потенціалів в основі, на плитах мостіння конуса стояна та бетонних конструкціях шляхопроводу в сухих умовах і після дощу. Внизу конуса стояна спостерігався найбільш високий потенціал в основі й перед

дощем (0,32 В) і після (0,42 В). Навпаки, потенціал на поверхні бетону був найнижчий і перед дощем (0,11 В), так і після дощу (0,17 В).

Вимірювання потенціалу в основі під час руху електропоїздів підтвердили уявлення про поляризацію ґрунтовмісного матеріалу (рис. 24). Також було виміряно залежність величини потенціалів в основі від руху поїздів метрополітену, який проходить під шляхопроводом (рис. 25).

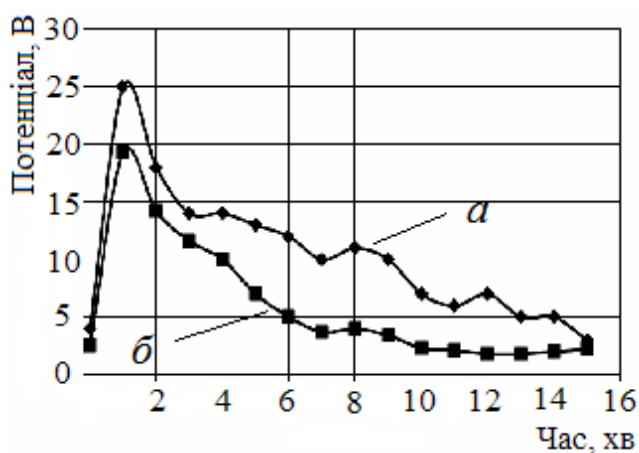


Рис. 24. Залежність величини потенціалів на рейці (а) і в ґрунті (б) при проходженні електропоїзда

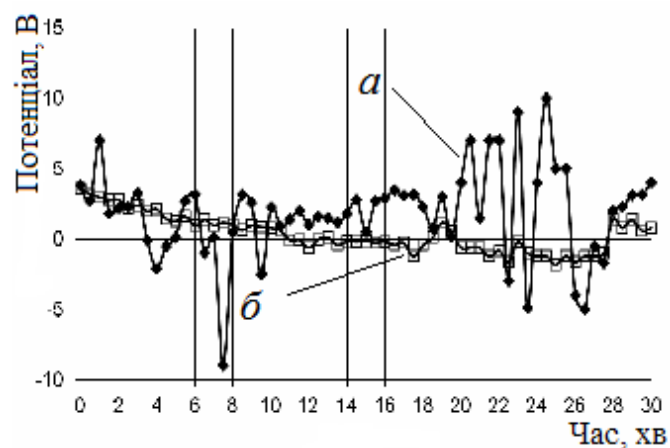


Рис.25. Залежність величини потенціалів на рейці (а) і в ґрунті (б) при проходженні електропоїзда метрополітену

З проходженням електропоїздів метро в ґрунті зростає негативний потенціал до мінус 2 В і повертається до вихідної величини, а потенціал на рейках – спочатку різко зменшується і повертається до початкового значення (до 17 хв), а потім зростає до 10 В. Періодичне збільшення й накопичення негативного потенціалу викликало періодичне вилуговування бетону плит мостіння й балок прогонової будови. Подібні залежності отримано й при вимірюванні потенціалів на будівлі музею на ст. Харків-Пасажирський, платформи приміського сполучення та ґрунтів між ними. При проходженні поїзда метрополітену величини потенціалів на будівлі й платформі зміщувалися в додатний бік, а в ґрунті синхронно – у від’ємний. Таку ж поляризацію спостерігали й при вивченні впливу проходження поїздів поверхнею на величини потенціалів на рейці й у ґрунті.

Досліджено вплив надлишкових зарядів і електрополів Землі на властивості бетону конструкцій. Змінення міцності бетону шляхопроводу досліджували шляхом визначення міцності при стиску висвердлених зразків-кернів (таблиця).

Міцність зразків із внутрішніх частин конструкцій шляхопроводу значно (в 1,5...2 рази) перевищує міцність зразків із зовнішньої частини. Таке зменшення міцності може бути пов’язане із виносом катіонів кальцію дощовими водами. Однак ремонт шляхопроводу було здійснено всього рік тому, і за такий короткий час міцність не могла так сильно знизитися. Отже, процес вилуговування був прискорений електроміграційним перенесенням  $Ca^{2+}$  в бік надлишкового негативного заряду частинок ґрунтовмісного матеріалу, що виник за рахунок поляризації від електропоїздів метрополітену та фільтрації води.

Значення міцності зразків бетону

Зразки (позначення для рис. 26, 27)	Середня міцність при стиску, МПа
Внутрішня частина підпірної стіни старої (а)	45,88
Зовнішня частина підпірної стіни старої (б)	28,43
Внутрішня частина підпірної стіни нової (в)	29,35
Зовнішня частина підпірної стіни нової (г)	16,56
Внутрішня частина стояка опори (д)	43,04
Зовнішня частина стояка опори (е)	17,69
Нижні плити мостіння конуса стояна (ж)	20,92
Верхні плити мостіння конуса стояна (з)	17,51

Міцність зразків плит мостіння конуса стояна нижньої частини не набагато більша, ніж верхньої. Це пояснюється тим, що при поляризації плити мостіння при накопиченні в ґрунтовмісному матеріалі укосу негативного потенціалу вилугуються, а дощ виносить катіони кальцію в основу, про що свідчить підвищення позитивного заряду під плитами. Відібрані зразки цементного каменю з конструкцій шляхопроводу також було досліджено методами рентгенофазового аналізу (рис. 26) та інфрачервоної спектроскопії (рис. 27).

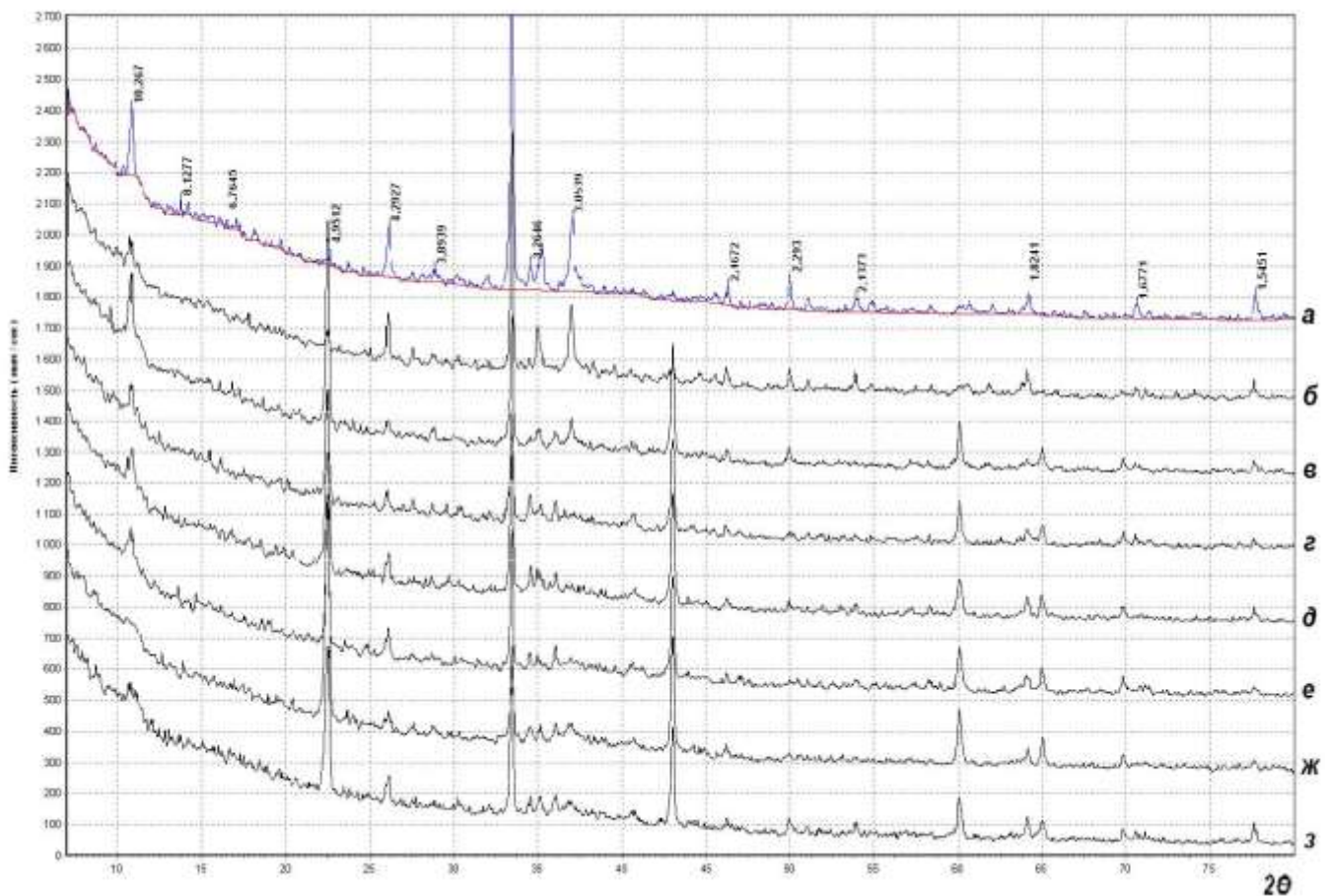


Рис. 26. Рентгенограми зразків цементного каменю (позначення див. у таблиці)



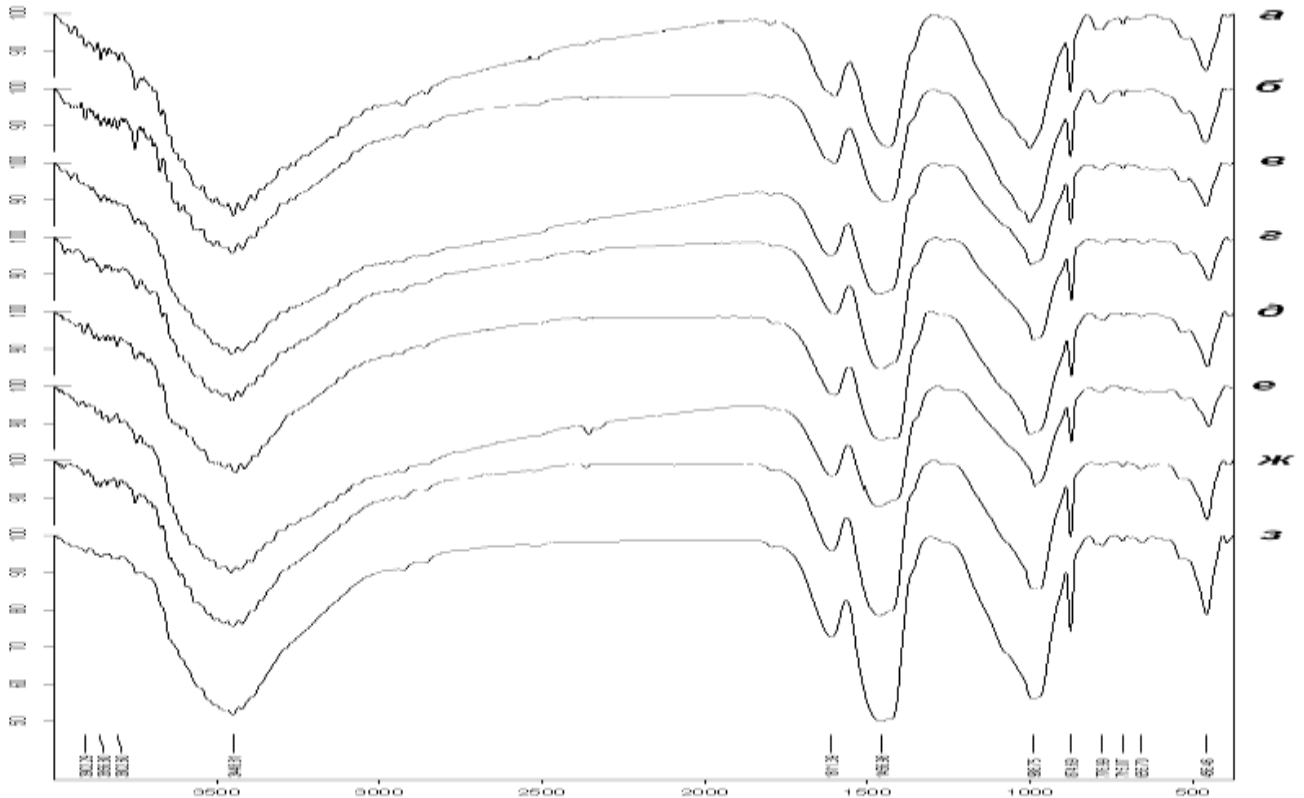


Рис. 27. ІЧС зразків цементного каменю (позначення див. у таблиці)

На РГ зразків із зовнішньої частини старої підпірної стіни (рис. 26, *а*) виявляється менша інтенсивність ліній, характерних для портландиту (0,493; 0,263; 0,193 нм), еtringіту (0,973; 0,5 61; 0,388 нм). Однак окремі піки гідроалюмінатів (1,06; 0,79; 0,288; 0,253; 0,248 нм), а також низько- (1,25; 0,307; 0,28; 0,183 нм) й високоосновних (0,8; 0,307; 0,28; 0,183 нм) ГСК і кальциту (0,303; 0,2088; 0,191; 0,1869 нм) мають більшу інтенсивність, ніж такі самі піки сполук, що фіксуються при дослідженні внутрішньої частини стіни (рис. 26, *б*). ІЧС внутрішньої частини стіни (рис. 27, *а*) характеризується більшою мультиплексністю в області частот різних форм зв'язаної води 3200 – 3800  $\text{cm}^{-1}$ , що обумовлено впливом на силові характеристики зв'язку ОН катіонів кальцію та інших катіонів глинистих частинок ґрунту, розташованого за підпірною стіною. Коливання зв'язку Si-O характерно для симетричної будови тетраедра  $\text{SiO}_4$ , про що свідчить чітка смуга в області 1000  $\text{cm}^{-1}$ . В обох зразках практично відсутні піки, характерні для низько- і високоосновних ГСК. Зразок зовнішньої частини (рис. 27, *б*) відзначається наявністю піків 2927 і 1798  $\text{cm}^{-1}$ , характерних для адсорбованої, координованої та гідроксильної води. Отже, катіони кальцію перемістилися всередину підпірної стіни, відкривши поверхню кварцевих зерен для взаємодії з молекулами води.

На РГ зразків із зовнішньої частини нової підпірної стіни (рис. 26, *в*), виявляється значна інтенсивність ліній, характерних для портландиту, еtringіту та гідроалюмінатів. Також низько- і високоосновні ГСК і кальцит більше виражені за інтенсивністю, ніж для внутрішньої частини. ІЧС внутрішньої частини стіни (рис. 27, *в*) порівняно зі спектром зовнішньої частини (рис. 27, *г*) характеризується меншою

мультиплексністю в області частот різних форм зв'язаної води  $3200 - 3800 \text{ см}^{-1}$ , що свідчить про менший вплив на силові характеристики зв'язку ОН катіонів кальцію та інших катіонів піщаних частинок ґрунту, розташованого за підпірною стіною. У цьому випадку катіони кальцію перемістилися до зовнішньої частини стіни.

РГ зразків із зовнішньої й внутрішньої частин стояка опори (рис. 26, *д, е*) практично однакові за інтенсивністю ліній, характерних для портландиту, гідромоносульфоалюмінату кальцію та гідроалюмінатів, низько- і високоосновних ГСК, кальциту та оксиду кремнію. ІЧС внутрішньої частини опори (рис. 27, *д*) характеризується меншою мультиплексністю в області частот різних форм зв'язаної води  $3200 - 3800 \text{ см}^{-1}$ . У зразку внутрішньої частини опори зменшена інтенсивність смуги Si-O і зміщена до області менших частот ( $997 \text{ см}^{-1}$ ). У цьому випадку катіони кальцію перемістилися до зовнішньої частини опори (рис. 27, *е*).

На РГ зразків із нижньої частини стояка (рис. 26, *ж*) виявляється більша інтенсивність ліній, характерних для портландиту, еtringіту та гідроалюмінатів, а також низькоосновних ГСК. ІЧС нижньої частини стояка (рис. 27, *ж*) характеризується більшою мультиплексністю в області частот різних форм зв'язаної води  $3200 - 3800 \text{ см}^{-1}$  порівняно з ІЧС верхньої частини (рис. 27, *з*), що зумовлено впливом на силові характеристики зв'язку ОН катіона кальцію, більша кількість якого підтверджена РГ. Для спектра нижньої частини спостерігається також зниження відносної інтенсивності поглинання для піків карбонатних зв'язків  $870$  і  $1400 \text{ см}^{-1}$  і більш широка смуга поглинання  $1150 - 1030 \text{ см}^{-1}$ , характерна для сполук ГСК тоберморитоподібної структури.

Зіставлення результатів фізико-хімічних досліджень і результатів натурних вимірів величин потенціалів на конструкціях дало змогу зробити висновок про направлене переміщення катіонів кальцію в бік зон з негативним потенціалом.

**Сьомий розділ** присвячено експлуатаційним випробуванням і впровадженню результатів досліджень. За результатами експериментально-теоретичних і експлуатаційних досліджень, виконаних у дисертації, розроблено, випробувано та впроваджено способи забезпечення стійкості ґрунтовмісних матеріалів і споруд із них.

Розроблено методику моніторингу вологісного стану ґрунтовмісних матеріалів за допомогою стаціонарних датчиків, що дає змогу визначити вологість споруд і масивів, у яких можливі виникнення деформацій і пошкоджень внаслідок перезволоження. Згідно з методикою в масив занурюється спеціальний капілярний датчик, за допомогою якого виконуються електричні вимірювання й оцінка за їх результатами вологості ґрунтовмісного матеріалу та його реологічного стану – пластичного, текучого. Натурні дослідження капілярного датчика вологості й прототипу системи моніторингу вологісного стану ґрунтовмісного матеріалу відпрацьовано в основі прибудови до будівлі, яка зазнає нерівномірного осідання. Розроблено й випробувано методику діагностування земляного полотна залізниць (рис. 28). Розташування датчиків для вимірювання електричного опору на «хворих» місцях земляного полотна або в місцях передбачуваного скупчення води дасть змогу проводити постійний моніторинг за вологісним станом цих ділянок і в разі необхідності проводити оперативне та своєчасне втручання, щоб запобігти виникненню надзвичайних ситуацій.

Розроблено композицію на основі розчину силікату натрія, модифікованого С-3, яку впроваджено під час закріплення основи під будівлею лабораторії випробувань будівельних матеріалів, прибудованої до головного корпусу УкрДАЗТ (рис. 29).

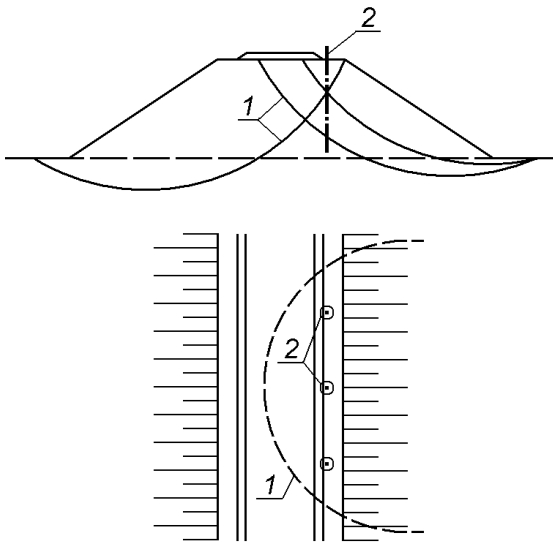


Рис. 28. Схема встановлення капілярних датчиків у залізничному насипу: 1 – можливі поверхні ковзання укосу насипу; 2 – місця встановлення датчиків



Рис. 29. Нагнітання композиції на основі розчину силікату натрія, модифікованого С-3

Розроблено та впроваджено спосіб захисту при реконструкції будівлі музею залізничного транспорту та високої платформи ст. Золочів, що полягає у встановленні шунта для запобігання накопиченню зарядів від струмів витoku й електрополя Землі. Виконано виробничу перевірку зниження різниці потенціалів встановленням сталеві смуги на шляхопроводі.

Результати досліджень упроваджено:

1) при розробленні проектів та проведенні таких робіт:

- капітальний ремонт водопропускної труби на 111 км ділянки Харків-Куп'янськ Південної залізниці;
- капітальний ремонт верхової частини водопропускної труби на 365 км ділянки Основа-Букине Південної залізниці;
- відновлення експлуатаційних властивостей водопропускної труби на 19 км ділянки Харків-Люботин Південної залізниці;
- капітальний ремонт залізобетонних конструкцій шляхопроводу на 802 км ділянки Гребінка-Черкаси Південної залізниці;
- капітальний ремонт опор моста на 365 км ділянки Основа-Букине Південної залізниці;
- розроблення конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей будівель станційних комплексів Південної залізниці (ст. Кислівка, Кагамлицька, Череднички);

2) при розробленні нормативно-технічної документації для Укрзалізниці:

- Технічні вказівки з діагностування земляного полотна залізниць (проект) / УкрДАЗТ; ЦП УЗ. – Харків; Київ, 2007;
- Рекомендації із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ. – Харків; Київ, 2012. – 83 с.;

– Рекомендації із закріплення слабких ґрунтів основ будівель та споруд, що експлуатуються на залізницях України / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ. – Харків; Київ, 2010. – 103 с.;

– Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ. – Харків; Київ, 2011. – 70 с.

Внаслідок виконання робіт щодо впровадження результатів дисертації було досягнуто економічний ефект за рахунок відновлення несучої здатності конструкцій, подовження їх терміну служби та всієї споруди в цілому, застосування високоефективних недорогих матеріалів, нетрудомістких технологій, без залучення важкої техніки й зупинки руху поїздів, порівняно з традиційно використовуваними матеріалами й технологіями. Досягнута економія визначена як різниця між орієнтовною вартістю реалізації типових конструктивних і технологічних рішень з фактичними витратами на проведення робіт. Отримано економічний ефект, персональний внесок у який автора дисертації становить 2 326 379 грн.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено основи теорії накопичення великих надлишкових зарядів різних знаків у матеріалах конструкцій та споруд, а також впливу електричних полів – глобального Землі й локальних, у тому числі техногенного походження, на властивості матеріалів і відповідну поляризацію конструкцій, що дало змогу розробити високоефективні способи й методи захисту та подовжити терміни служби конструкцій і споруд, які експлуатуються в цих умовах.

2. Обґрунтовано, що горизонтальна складова електрополя локального масштабу виникає під впливом макроколоїдних процесів і явищ, основними з яких є перенесення катіонів дифузної частини подвійних електричних шарів частинок ґрунту або бетону із конструкцій. Електрополе, яке виникає, призводить до електрофоретичного зміщення частинок і порушення стійкості ґрунтовмісних і бетонних матеріалів конструкцій та споруд.

3. На підставі аналізу руйнування висотних монолітних залізобетонних будівель, що відрізняються від інших суцільним арматурним каркасом, отримали подальший розвиток уявлення про те, що у зв'язку з практично нескінченною діелектричною проникністю сталі й гідросилікатної складової цементного каменю в бетоні, здатністю заліза спонтанно поляризуватися в незначних електричних полях, виникають горизонтальні та вертикальні дипольні моменти й сили, що викликають деформації будівель, аж до руйнування. При цьому надлишкові негативні заряди у верхній частині будівлі призводять до змінення пружних властивостей арматури й бетону на еластичні та пластичні за рахунок відштовхування однойменно заряджених у цих умовах поверхонь частинок.

4. Розроблено критерії застосування модифікованих ґрунтовмісних матеріалів та бетонів в умовах надлишкових електричних зарядів. Згідно з цими критеріями повністю придатними і забезпечуючими стійкість в умовах надлишкових зарядів та електрополів Землі є ґрунтовмісні матеріали, які модифіковані розчином силікату натрію й аніонним поліелектролітом, а також цементні бетони та розчини оптимального складу із забезпеченням електрогетерогенних або електрогомогенних із загальним шаром протіонів контактів між структурними елементами.

5. Отримали подальший розвиток теоретичні уявлення щодо причини збільшення тиску набухання в умовах відсутності перезволоження ґрунтовмісних матеріалів. Показано, що в умовах надлишкових електричних зарядів відбувається нейтралізація або перезарядження ділянок поверхні частинок, між частинками виникає значний тиск відштовхування (до 1500 МПа), частинки розсуваються, прошарки між ними заповнюються водою, відбувається набухання з високим сумарним тиском. Уперше запропоновано доповнити рівняння розклинювального тиску притягувальною складовою, що враховує величину електроповерхневого потенціалу твердої фази.

6. Розвинуто нові теоретичні уявлення:

– про причини втрати зв'язності ґрунтів і зниження в'язкості в умовах надлишкового електричного заряду, який призводить до нейтралізації позитивно заряджених частинок і зникнення (зменшення) сил притягання між ними. У результаті дослідження реологічних властивостей суспензій запропоновано ввести додаткову складову у формулу Ейнштейна для в'язкості, який дає змогу врахувати вплив електроповерхневого потенціалу твердої фази на орієнтацію і структурування молекул дисперсійного середовища;

– про причини зсувів видавлювання або таких, що розпливаються майже горизонтальною поверхнею, обумовлених накопиченням надлишкового негативного заряду на частинках ґрунту масиву за рахунок перенесення із нього катіонів до берега і в річку. Уперше виведено кількісні рівняння для опису різного виду зсувів залежно від напруженості електричного поля;

– про причини підняття рівня ґрунтових і підземних вод, аж до несподіваних аномально тривалих повеней, які в основному обумовлені накопиченням величезних надлишкових негативних зарядів на поверхні великих територій. При цьому виникає електроосмотичне підняття ґрунтової води за рахунок притягання її катіонів до потенціалвизначальних іонів частинок ґрунту. Показано, що при середній напруженості електричного поля 130 В/м тиск електроосмотичного підняття води в капілярах у 10 разів перевищує тиск капілярного підняття;

– про змочування поверхонь і розтікання ними рідин, що базуються на уявленнях про сили електроповерхневого латерального відштовхування й електроповерхневого нормального притягання. Уперше виведено рівняння для крайового кута змочування з урахуванням величини електроповерхневого потенціалу твердої фази. Показано, що в умовах значної напруженості електричного поля (1000 В/м) крайовий кут змочування зменшується в 3,5 рази.

7. Розроблено теоретичні основи створення ґрунтовмісних матеріалів і бетонів для умов надлишкових електричних зарядів, де керуючим фактором є величина й знак електроповерхневого потенціалу взаємодіючих частинок із забезпеченням електрогетерогенних контактів або електрогомогенних із загальним шаром протиіонів при модифікуванні ґрунтовмісних матеріалів силікатом натрію й аніонним поліелектролітом. На відміну від раніше проведених досліджень це дало змогу підвищити міцність ґрунтовмісних матеріалів у 1,5 рази і водостійкість на 40 %.

8. Внаслідок виконання комплексних лабораторних і натурних досліджень встановлено:

– в основі забезпечення міцності й стійкості ґрунтовмісних матеріалів лежать уявлення про електроповерхневі потенціали взаємодіючих речовин та фізико-хімічні процеси, що відбуваються на їх поверхні, що підтверджено дослідженнями електроповерхневих властивостей (електроповерхневого потенціалу, потенціалу течії, поверхневого натягу, крайового кута змочування). Показано, що зміна електроповерхневих характеристик твердої фази призводить до змінення зазначених властивостей композиційних матеріалів;

– у різних частинах конструкцій відбувається накопичення різних за знаком потенціалів, що є причиною зміни міцності ґрунтовмісних матеріалів, бетону та залізобетону в 1,5...3 рази при вимірюваному діапазоні різниці потенціалів від 0,12 до 0,36 мВ, що підтверджено вимірюванням потенціалу течії й деформацій на моделі укусу із ґрунтовмісних матеріалів та при натурних дослідженнях об'єктів залізничного транспорту. Уперше встановлено, що усунення накопичення різниці потенціалів при фільтрації води схилом можливе за рахунок встановлення в ґрунтових масивах матеріалів-провідників, здатних пропускати виникаючий струм крізь себе й підтримувати таким чином електронейтральність системи. Зниження величини різниці потенціалів досягало в середньому 30 %;

– методами світлової та електронної мікроскопії, аналізом інфрачервоних спектрів поглинання й рентгенофазового аналізу підтверджено змінення як мікро-, так і мезоструктури ґрунтовмісних матеріалів і бетонів унаслідок відштовхування одноіменно заряджених частинок і протиіонів подвійних електричних шарів, а також електрофоретичний і електроміграційний механізм переміщення частинок у дисперсних системах.

9. Розроблено та впроваджено спосіб збереження стійкості ґрунтовмісних матеріалів при закріпленні основ композицією на основі розчину силікату натрію й модифікуючої добавки, що створює непроникні для надлишкових електричних зарядів електрогетерогенні або електрогомогенні із загальним шаром протиіонів контакти між структурними елементами композиції. Додавання в композицію аніонного поліелектроліту збільшує міцність (до 7 МПа), водостійкість (у 2,5 рази) і проникаючу здатність у ґрунт (на 50 %).

10. Розроблено та впроваджено такі способи запобігання накопиченню надлишкового електричного заряду:

– захисний шунтуючий пристрій у вигляді сталевий смуги, здатної пропускати виникаючий струм крізь себе й підтримувати таким чином електронейтральність системи. Ефективність способу була підтверджена під час виробничих випробувань на об'єктах залізничного транспорту;

– спосіб діагностування вологісного стану ґрунтовмісних матеріалів за допомогою стаціонарних коаксіальних датчиків. Показано, що найважливішою складовою моніторингу стану укусів споруд із ґрунтовмісних матеріалів та схилів має бути моніторинг їх вологості з визначенням критичної вологості, при якій ґрунтовмісний матеріал переходить у нестійкий (текучий) стан, а також вимірювання електричних потенціалів у небезпечних ділянках споруд;

11. Затверджено галузеві інструктивні документи Укрзалізниці: «Технічні вказівки з діагностування земляного полотна залізниць» (проект); «Рекомендації із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від

спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод»; «Рекомендації із закріплення слабких ґрунтів основ будівель та споруд, що експлуатуються на залізницях України»; «Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів».

### **Основні положення дисертації опубліковано в таких роботах:**

*Основні:*

1. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография: в 3 т. Т. 1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, А.С. Кагановский, Ал.А. Плугин. – К.: Наук. думка, 2011. – 331 с. *Особистий внесок:* розгляд основних положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки стосовно властивостей будівельних матеріалів.

2. Новые силы, монолитное строительство и высотные дома / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев, О.С. Борзяк // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2014. – Вип. 3 (77). – С. 85–93. *Особистий внесок:* теоретичне обґрунтування впливу надлишкових зарядів на тріщиноутворення та стійкість будівель і споруд.

3. Трикоз, Л.В. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом инфракрасной спектроскопии / Л.В. Трикоз, О.С. Борзяк // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць. – Одеса: ОДАБА, 2013. – Вип. 52. – С. 281–285. *Особистий внесок:* теоретичне обґрунтування змінення структури, планування експерименту, аналіз результатів.

4. Плугин, А.Н. Механизм испарения воды из бетона / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, С.Н. Толмачев // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 71. – С. 230–249. *Особистий внесок:* теоретичні уявлення про вплив електроповерхневого потенціалу на в'язкість води.

5. Трикоз, Л.В. Методика определения смещений ґрунтовых массивов на лабораторных моделях / Л.В. Трикоз // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 71. – С. 282–286.

6. Трикоз, Л.В. Сравнительный анализ распределения дефектов и деформаций земляного полотна во времени / Л.В. Трикоз // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2012. – Вип. 130. – С. 121–127.

7. Трикоз, Л.В. Исследования электрокинетического потенциала глиносодержащих ґрунтовых систем / Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко, И.А. Козеняшев // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2012. – Вип. 129. – С.162–169. *Особистий внесок:* теоретичне обґрунтування змінення електрокінетичного потенціалу, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

8. Развитие некоторых аспектов коллоидной химии и физико-химической механики дисперсных систем и материалов применительно к устойчивости откосов и склонов / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко, А.А. Плугин, Д.А.Плугин, Ал.А.Плугин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 39. – С. 150–156. *Особистий внесок:* теоретичне й кількісне обґрунтування порушень стійкості матеріалів під дією макроелектрокінетичних чинників.

9. Трикоз, Л.В. Коллоидно-химические основы нарушения устойчивости глино-содержащих грунтовых материалов / Л.В. Трикоз // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2011. – Вип. 127. – С. 184–192.

10. Трикоз, Л.В. Исследование механизма сдвига массива грунтов / Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко, И.А. Козеняшев // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2011. – Вип. 125. – С. 165–171. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування зміщення масиву, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

11. Трикоз, Л.В. Проблемы эксплуатации земляного полотна на Донецкой железной дороге / В.В. Юрченко, Л.В. Трикоз, А.А. Плугин // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2011. – Вип. 122. – С. 221–227. *Особистий внесок*: аналіз статистичних даних, теоретичне обґрунтування впливу струмів витоку.

12. Плугін, А.А. Вплив обводненості і струмів витоку на дефекти і деформації земляного полотна та моніторинг його вологісного стану / А.А. Плугін, А.М. Плугін, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 5. – С. 13–16. *Особистий внесок*: теоретичні уявлення про електрокінетичні й поляризаційні явища в ґрунтах.

13. Плугин, А.Н. Влияние вида пигмента на реологические свойства антикоррозионных защитных покрытий искусственных сооружений железнодорожного транспорта / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко, И.В. Подтележникова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – Вип. 33. – С. 193–196. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування впливу виду пігменту, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

14. Механизмы формирования структуры, прочности и долговечности стали и железобетона на основе электроповерхностного потенциала простых веществ / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, Л.В. Трикоз, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2010. – № 14. – С. 250–270. *Особистий внесок*: кількісний опис механізму розчинення блоків фериту під дією сил латерального електроповерхневого відштовхування.

15. Трикоз, Л.В. Исследования зависимости прочности цементно-водных составов для герметизации тоннелей от количества наполнителя / Л.В. Трикоз, А.В. Никитинский, В.А. Лютый, С.Н. Стоян // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2009. – Вип. 94. – С. 35–43. *Особистий внесок*: проведення розрахунків деформацій, аналіз експериментальних і розрахункових значень деформацій повзучості.

16. Трикоз, Л.В. Исследование кинетики деформаций ползучести цементного камня / Л.В. Трикоз, В.А. Лютый, А.В. Никитинский // Вісник Донецької національної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць. – Макіївка: ДонНАБА, 2009. – Вип. 1 (75). – С. 32–38. *Особистий внесок*: проведення розрахунків деформацій, аналіз експериментальних і розрахункових значень деформацій повзучості.

17. Трикоз, Л.В. О влиянии сил электроповерхностного латерального отталкивания и электроповерхностного притяжения на равновесие капли жидкости на твер-



дой поверхності / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць. – Одеса: ОДАБА, 2009. – Вип. 36. – С. 333–340. *Особистий внесок*: розрахунки крайового кута змочування, порівняльний аналіз експериментальних даних.

18. Трикоз, Л.В. Исследование влияния добавки С-3 на поверхностные свойства жидкого стекла / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2009. – Вип. 109. – С. 66–74. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування впливу добавки, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

19. Трикоз, Л.В. Аналіз розподілення дефектів і деформацій земляного полотна на залізницях України / Л.В. Трикоз, А.В. Никитинський, В.А. Лютий // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2008. – Вип. 99. – С. 187–197. *Особистий внесок*: обробка та аналіз статистичних даних, теоретичне обґрунтування деформацій повзучості ґрунтів.

20. Трикоз, Л.В. Анализ зависимости дефектов и деформаций земляного полотна от различных факторов / Л.В. Трикоз, А.А. Плугин, В.А. Систренский // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2008. – Вип. 91. – С. 187–197. *Особистий внесок*: обробка та аналіз статистичних даних, теоретичне обґрунтування впливу вологості.

21. Трикоз, Л.В. Механизм влияния модификатора С-3 на прочность и гидравлическую способность жидкого стекла / А.Н. Плугин, О.С. Герасименко, Л.В. Трикоз, А.А. Плугин // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2008. – Вип. 48. – С. 154–162. *Особистий внесок*: формулювання теоретичних положень формування структури композицій на основі рідкого скла.

22. Трикоз, Л.В. Увеличение проникающей способности жидкого стекла в песчаный грунт / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2007. – Вип. 87. – С. 108–120. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування збільшення проникної здатності рідкого скла.

23. Механізм виборчої дії наповнювача та оптимізація структури антикорозійних захисних покриттів / А.М. Плугін, І.В. Подтележнікова, Л.В. Трикоз, С.В. Мірошніченко, А.А. Плугін // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2004. – Вип. 63. – С. 82–90. *Особистий внесок*: аналіз експериментальних і розрахункових значень структурних характеристик покриттів.

24. Долговременная ползучесть бетона и напряженно-деформированное состояние железобетонных изделий и конструкций / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин, С.В. Мирошниченко, Л.В. Трикоз, С.Н. Кудренко, А.В. Никитинский, В.А. Лютий // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2004. – Вип. 63. – С. 5–47. *Особистий внесок*: розроблення й уточнення реологічної моделі цементного каменю.

25. Електрокоррозія бетону залізобетонних блоків обробки метрополітену / А.М. Плугін, А.А. Плугін, О.О. Скорик, О.С. Герасименко, Л.В. Трикоз, М.Ф. Макєєв // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2003. – Вип. 56. – С. 126–135. *Особистий внесок*: розроблення схем проходження струму в ґрунті й залізобетонній обробці тунелю метрополітену.

26. Трикоз, Л.В. Кінетика виділення летких фракцій, що забруднюють атмосферу, із матеріалів, які містять кам'яновугільну смолу / Л.В. Трикоз, В.В. Пинчук, Л.А. Коршиков, В.В. Ленський // Зб. наук. праць Харківської державної академії залізничного транспорту. – Х., 2001. – Вип. 48. – С. 21–26. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування кінетики виділення, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

27. Трикоз, Л.В. Методика отримання піноутворювача із активного мулу та вибір оптимальних технологічних параметрів / Л.В. Трикоз, В.В. Ленський, В.В. Пинчук // Зб. наук. праць Харківської державної академії залізничного транспорту. – Х., 2000. – Вип. 37. – С. 69–75. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування технологічних параметрів, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

*Додаткові:*

28. А. с. 1820190 ССРСР, МКИ G 01 B 5/02. Устройство для контроля геометрических параметров объектов / В.А. Васильева, Ю.М. Шубенко, В.В. Молчанов, Л.В. Павлова (ССРСР). – № 4824579/28; заявл. 10.05.90; опубл. 07.06.93. Бюл. № 21. *Особистий внесок*: патентний пошук, конструктивне розроблення поворотного вузла.

29. А. с. 1812419 ССРСР, МКИ G 01 B 5/02. Измерительная головка / В.А. Васильева, В.В. Молчанов, Л.В. Павлова, С.П. Манько (ССРСР). – № 4824480/28; заявл. 10.05.90; опубл. 30.04.93. Бюл. № 16. *Особистий внесок*: патентний пошук, конструктивне розроблення вимірювального наконечника.

30. Пат. № 87795 Україна, МПК С 04 В 28/26, Е 01 С 21/00. Рідкоскляна композиція / А.А. Плугін, А.М. Плугін, О.С. Герасименко, Л.В. Трикоз, С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін, Д.А. Плугін, О.А. Дудін, В.А. Лютий, О.А. Плугін; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – №а200811931; заявл. 07.10.2008; опубл. 10.08.09, Бюл. №15. *Особистий внесок*: патентний пошук, теоретичне обґрунтування вимог до рідкоскляної композиції для її використання в умовах надлишкових зарядів.

31. Пат. № 94875 Україна, МПК G 01 N 27/02. Спосіб вимірювання вологості і визначення вологісного стану ґрунтів, у тому числі на глибині / А.А. Плугін, А.М. Плугін, О.С. Герасименко, Л.В. Трикоз, Д.А. Плугін, О.А. Дудін, О.А. Плугін, В.А. Лютий; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – №а201009447; заявл. 28.07.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11. *Особистий внесок*: патентний пошук, теоретичне обґрунтування визначення вологісного стану ґрунтів.

*Публікації у міжнародних виданнях чи у збірниках, що включені до міжнародних наукометричних баз:*

32. Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, О.С. Борзяк, А.А. Конев // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2014. – Вип.148. – С. 5–20. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування впливу надлишкових зарядів на виникнення зсувів та інших порушень стійкості споруд.

33. Разработка схем протекания постоянных токов утечки через бетонные и железобетонные конструкции / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, Л.В. Трикоз, Ал.А. Плугин // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2014. – Вип.143. – С.115–124. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування накопичення надлишкових зарядів у ґрунті під дією різних чинників.

34. Трикоз, Л.В. Исследование диэлектрической поляризации грунтовых массивов / Л.В.Трикоз, О.С. Герасименко // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Х.: ЕЕJET, 2014. – № 4 / 5 (70). – С. 24–28. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування поляризації, планування експерименту, розроблення методики й проведення досліджень, аналіз результатів.

35. Исследования и обнаружение новых особосложных условий эксплуатации сооружений и конструкций за счет избыточных зарядов на поверхности Земли / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, Д.А. Плугин, Ал.А. Плугин // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 2. – С.17–26. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування накопичення надлишкових зарядів на спорудах під дією різних чинників.

36. Трикоз, Л.В. Исследования электроповерхностных свойств глиносодержащих грунтовых систем / Л.В. Трикоз // Вісник Національного технічного університету «ХП» (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 47 (1020). – С. 146–153.

37. Трикоз, Л.В. Теоретические предпосылки создания грунтодержущих материалов / Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко, И.А. Козеняшев // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2013. – Вип. 138. – С. 85–90. *Особистий внесок*: розроблення структурного підходу до забезпечення міцності, проведення розрахунків, аналіз результатів.

38. Плугин, А.Н. Вымывание противоионов как начальный процесс разрушения дорожного бетона / А.Н. Плугин, С.Н. Толмачев С.Н., А.А. Плугин, Л.В. Трикоз // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 34–37. *Особистий внесок*: розрахунок коефіцієнта пропорційності між електростатичною силою і тепловим імпульсом, аналіз результатів розрахунків.

39. Plugin, Ar. Hurricane Sandy and tornados in America and the largest earthquakes on the earth. Reasons of origin / Ar. Plugin, An. Plugin, L. Trykoz, Al. Plugin // International Scientific Journal “GEOCHANGE: Problems of global changes of the geological environment”. – Munich, 2013. – Vol. 2. – P. 70–78. *Особистий внесок*: розгляд накопичення надлишкових зарядів як чинник виникнення глобальних катастроф.

40. Трикоз, Л.В. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом рентгенофазового анализа / Л. В. Трикоз, О. С. Борзяк // Сб. науч. трудов SWorld. – Вып. 2, том 17. – Иваново: Маркова АД, 2014. – ЦИТ: 214-306 – С. 10–17. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування змінення структури, планування експерименту, аналіз результатів.

41. Trikoz, L. The Method to Evaluate Electro-surface Potential of the Dispersed Phase Particles through the Disperse System Viscosity Analysis / L.Trikoz, A.N. Plugin, O. Gerasimenko, A.A. Plugin // Proc. 18. Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. – Band 1. – P. 1095–1101. *Особистий внесок*: теоретичне обґрун-

тування залежності в'язкості від електроповерхневого потенціалу, розроблення методики і проведення вимірювань, порівняння теоретичних і експериментальних даних.

42. Plugin, A.A. Quantitative Theory of Strength of Portland Cement Stone, Including with Mineral Additions / A.A. Plugin A.N. Plugin, O.A. Kalinin, S.V. Miroschnichenko, D.A. Plugin, L.V. Trikoz // Proc. 18 Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2012. – Band 1. – P. 0874–0881. *Особистий внесок*: аналіз залежності концентрації електрогетерогенних контактів від різних чинників.

*Апробаційного характеру (доповіді на конференціях):*

43. Трикоз, Л.В. Выбор вида и материала заземления для предотвращения нарушений устойчивости грунтодержущих материалов / Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко // Развитие научовой та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 76-ї міжнародної науково-технічної конференції 15-17 квітня 2014 р., м. Харків. – Х.: УкрДАЗТ, 2014. – С. 262. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування виду й матеріалу заземлення.

44. Трикоз, Л.В. Дослідження та розробка фізико-математичних моделей деформацій ґрунтових масивів / Л.В. Трикоз // Моделирование и оптимизация композитов: материалы к международному семинару 22-23 апреля 2014 г., г. Одесса. – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 238.

45. Трикоз, Л.В. Развитие теории нарушения устойчивости земляного полотна на основе коллоидно-химических представлений / Л.В. Трикоз // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы международной научно-практической конференции 24-25 апреля 2014 г., г. Пермь, Россия. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. – С. 530–533.

46. Трикоз, Л.В. Исследования структурных и фильтрационных свойств глинистых грунтов, используемых при возведении земляного полотна железных дорог / Л.В. Трикоз // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тез. докл. 72 Международной научно-практической конференции 19-20 апреля 2011 г., г. Днепропетровск. – Днепропетровск: ДИИТ, 2012. – С. 277–278.

47. Плугін, А.М. Методичні основи оптимізації структури антикорозійних полімеркомпозиційних покриттів / А.М. Плугін, І.В. Подтележнікова, С.В. Мірошніченко, Л.В. Трикоз, А.А. Плугін // Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Донецьк, 9-12 червня 2003 р.) – Донецьк: УАМК, 2003. – С. 138–145. *Особистий внесок*: аналіз експериментальних і розрахункових значень структурних характеристик покриттів.

## АНОТАЦІЯ

Трикоз Л.В. Теорія надлишкових електричних зарядів та розробка способів збереження стійкості матеріалів і конструкцій за їх наявності. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Українська державна академія залізничного транспорту МОН України, Харків, 2015.

Робота присвячена створенню теорії електричних надлишкових зарядів Землі та забезпеченню стійкості ґрунтів основ, матеріалів і конструкцій в умовах накопичення таких зарядів, створенню комплексу матеріалів, способів і технологій захисту й продовження термінів служби конструкцій і споруд. Показано, що втрата будівельних властивостей ґрунтами основ, руйнування конструкцій та споруд, аномальні зрушення й провали ґрунтів обумовлені накопиченням надлишкових електричних зарядів, що підсилюються природними електрокінетичними явищами, струмами витоку на електрифікованих ділянках залізниць.

Розвинуто нові теоретичні уявлення про зміну властивостей, зниження в'язкості та зростання набухання глинистих ґрунтів, про втрату зв'язності ґрунтів, виникнення зсувів і аномальних повеней, змочування поверхонь в умовах електричних надлишкових зарядів. Виведено нове рівняння для визначення міцності композиційних матеріалів на підставі величини та знака електроповерхневих потенціалів взаємодіючих частинок.

Розроблено й впроваджено композицію з модифікуючою добавкою, що утворює непроникні для надлишкових електричних зарядів електрогетерогенні або електрогомогенні із загальним шаром протіонів контакти між структурними елементами, та технологію створення ґрунтовмісних матеріалів, що забезпечують стійкість в умовах надлишкових зарядів і електрополів Землі. Розроблено та впроваджено метод захисту від руйнівної дії надлишкового електричного заряду встановленням захисного шунтуючого пристрою у вигляді сталевий смуги. Розроблено й впроваджено спосіб діагностування вологісного стану ґрунтовмісних матеріалів за допомогою стаціонарних коаксіальних датчиків. Розроблено відповідні нормативні документи.

Ключові слова: ґрунтовмісний матеріал, бетон, надлишковий електричний заряд, подвійний електричний шар, електрокінетичні явища, електроповерхневий потенціал, електрогетерогенний, електрогомогенний.

## АННОТАЦІЯ

Трикоз Л.В. Теория избыточных электрических зарядов и разработка способов сохранения стойкости материалов и конструкций в их присутствии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена созданию теории электрических избыточных зарядов Земли и обеспечению стойкости грунтов оснований, материалов, конструкций и сооружений в условиях накопления таких зарядов, созданию на этой основе комплекса высокоэффективных материалов, конструктивных решений, способов и технологий защиты и продления сроков службы конструкций и сооружений. Земля, все ее структурные элементы – это системы различной степени дисперсности с физико-химическими взаимодействиями между ее структурными элементами, и, следовательно, они являются объектами исследований коллоидной химии и физико-химической механики, соответствующим образом развитых. Многолетние исследования научной школы кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений УкрГАЗТ

по повышению долговечности материалов и конструкций из них в сложных условиях эксплуатации позволили развить новое научное направление – «Макроколлоидная химия и физико-химическая механика Земли». На основе этого направления в работе раскрыты механизмы и движущие силы разрушения крупных строительных сооружений, крупнейших оползней, земных катастроф, разработаны предложения по их предотвращению.

В работе показано, что потеря строительно-технических свойств грунтов оснований, разрушение зданий, конструкций и сооружений, аномальные сдвиги, провалы грунтов обусловлены накоплением избыточных электрических зарядов Земли, порождаемых термодиффузией электронов из ее ядра и усиливаемых природными электрокинетическими явлениями на больших территориях, токами утечки на электрифицированном железнодорожном транспорте. В высоких монолитных зданиях сплошной арматурный каркас и бетон приводят в условиях больших избыточных зарядов и электрополя Земли к возникновению горизонтальных и вертикальных дипольных моментов, значительных по величине, и избыточных зарядов в отдельных частях зданий и, соответственно, горизонтальных сил, стремящихся вызвать наклон, изгиб и разрушение домов. Это в свою очередь обусловлено практически бесконечной диэлектрической проницаемостью стали и гидросиликатной составляющей цементного камня в бетоне, способностью железа спонтанно поляризоваться в наименьших электрических полях, а также тем, что большие избыточные отрицательные заряды в верхней части здания часто приводят к замене упругих свойств арматуры и бетона на эластичные (пластические) и, соответственно, к деформациям зданий.

На основе выполненного анализа существующего опыта использования материалов разработаны критерии применения модифицированных грунтов и бетонов в условиях избыточных зарядов. Согласно этим критериям, полностью пригодными и обеспечивающими стойкость в условиях избыточных зарядов и электрополей Земли являются грунтодержающие материалы с использованием жидкостекольных композиций с добавкой С-3, а также бетоны и растворы оптимального состава с обеспечением электрогетерогенных или электрогомогенных с общим слоем противоионов контактами между структурными элементами.

Развиты новые теоретические представления: о причинах увеличения давления набухания в условиях отсутствия переувлажнения глинистых грунтов; о причинах потери связности грунтов и снижения вязкости в условиях избыточного электрического заряда, который приводит к нейтрализации заряженных частиц и исчезновению (уменьшению) сил притяжения между частицами; о причинах отвесных или растекающихся по почти горизонтальной поверхности оползней, которые обусловлены накоплением избыточного отрицательного заряда на частицах грунта массива; о причинах неожиданных аномально продолжительных наводнений, которые в основном обусловлены накоплением огромных избыточных отрицательных зарядов на поверхности больших территорий; о смачивании поверхностей и растеканию по ним жидкостей, базирующиеся на представлениях о силах электроповерхностного латерального отталкивания и электроповерхностного нормального притяжения. Выведено новое уравнение для определения прочности композиционных материалов, где управляющим фактором является величина и знак электроповерхностного потенциала взаимодействующих частиц.

Методами оптической и электронной микроскопии, инфракрасного и рентгенофазового анализов подтверждены изменения микро- и мезоструктуры грунтоносодержащих материалов и бетонов вследствие отталкивания одноименно заряженных частиц и противоположно заряженных двойных электрических слоев, а также электрофоретический и электромиграционный механизмы перемещения частиц в дисперсных системах. Проведенные измерения потенциала течения и деформаций на модели насыпи и при натурных исследованиях объектов железнодорожного транспорта подтвердили, что в разных частях конструкций происходит накопление разных по знаку потенциалов, что является основной причиной изменения свойств грунтов, бетона и железобетона.

Разработана и внедрена жидкостеклянная композиция с модифицирующей добавкой, образующей непроницаемые для избыточных электрических зарядов электрогетерогенные или электрогомогенные с общим слоем противоположно заряженных контакты между структурными элементами. Выполнены производственные испытания и внедрены материалы и способы обеспечения стойкости грунтоносодержащих материалов в условиях электрических избыточных зарядов, разработаны соответствующие нормативные документы по обеспечению защиты конструкций от воздействия электрических избыточных зарядов.

Ключевые слова: грунтоносодержащий материал, бетон, избыточный электрический заряд, двойной электрический слой, электрокинетические явления, электроповерхностный потенциал электрогетерогенный, электрогомогенный.

## ABSTRACT

Trykoz L.V. The theory of excess electrical charge and materials and constructions strength retaining methods development in presence of the charges. – Manuscript.

Doctor of technical sciences thesis, specialty 05.23.05 – building materials and products. – Ukrainian State Academy of Railway Transport MES of Ukraine, Kharkiv, 2015.

It is shown that loss of construction properties of the base soils, destruction of the constructions and structures, anomalous soil displacements and fall-throughs are attributed to accumulation of excess electrical charges which are potentiated by natural electrokinetic phenomena, leak currents in the electric sections of the railways.

There is a new theoretical knowledge developed of clay soils properties variation, viscosity decrease and growth of their swelling. A theory of loss of soils' bonding properties, landslides occurrence, anomalous floods, surface moistening in excess charge conditions are presented. A new equation to calculate strength of composite materials based on value and sign of the electro-surface potential of the interacting particles.

There is a composition developed and implemented which includes a modifying agent. The agent forms electroheterogeneous or electrohomogeneous with a common anti-ion layer contacts which prevents penetration of excess electric charges. A technology offered to produce soil-containing materials which ensure stability in conditions when excess charge or electric fields of Earth are present.

The paper deals with development of the theory of excess electrical charge of the Earth and with measures which allow maintain stability of the base soils, materials and constructions in case of accumulation of such charges. It develops a base set of materials,

methods and technologies for structures and constructions protection and operational life extension.

Keywords: soilcontaining material, concrete, excess electrical charge, double electric layer, electrokinetic phenomena, electro-surface potential, electroheterogenous, electrohomogenous.



ТРИКОЗ Людмила Вікторівна

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

**ТЕОРІЯ НАДЛИШКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ  
І РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ СТІЙКОСТІ  
МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЇХ НАЯВНОСТІ**

Відповідальний за випуск Партала Н.М.

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2015 р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів.  
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 1,9.  
Замовл. № \_\_\_\_. Тираж 120 пр. Безкоштовно.

---

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)  
М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1  
Тел. 7-170-354

**[www.modelist.in.ua](http://www.modelist.in.ua)**