

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Конєв Олександр Анатолійович

УДК 691.32:620.193.7

**ВПЛИВ НАДЛИШКОВИХ НЕГАТИВНИХ ЗАРЯДІВ ВІД СТРУМУ
ВИТОКУ НА ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ БЕТОННИХ І
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацію є рукопис.

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

Науковий керівник: Лауреат Державної премії України в галузі науки та 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, доцент
Толмачов Сергій Миколайович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів;

кандидат технічних наук, доцент
Гуркаленко Віта Анатоліївна,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів та виробів.

Захист дисертації відбудеться 25 грудня 2014 р. о 14⁰⁰ 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 22 листопада 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

Ватуля Г.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Підвищення надійності залізобетонних конструкцій за рахунок підвищення тріщиностійкості бетону завжди являє собою найважливішу проблему будівельного матеріалознавства та експлуатації конструкцій. З масовою електрифікацією залізниць почала проявлятися і зростати інтенсивна електрокорозія бетонних і залізобетонних обводнених конструкцій. Багаторічні дослідження, виконані вченими кафедри будівельних матеріалів, конструкцій і споруд УкрДАЗТ, показали, що характерними руйнуваннями обводнених бетонних і залізобетонних конструкцій на ділянках з постійним струмом є велика інтенсивність їх електрокорозії і тріщиноутворення, порівняно з конструкціями на неелектрифікованих ділянках.

Як правило, електрокорозійне руйнування і тріщини в бетонних і залізобетонних конструкціях відбуваються не за однаковим механізмом. Так, в опорах контактної мережі електрокорозія проявляється частіше в нижній частині опори, а тріщиноутворення – у верхній, в залізобетонних шпалах електрокорозія проявляється в опорних частинах, а тріщиноутворення – на кінцях шпал. Часто тріщини з'являються в несподіваних, не пояснених з точки зору будівельних розрахунків місцях конструкції. Так, великі і аварійно небезпечні тріщини відриву між плитою і стінкою залізобетонних балок проявляються не в середині прогону, а в приопорній частині, а косі тріщини – практично над опорою, а не на віддалі від неї. Часто тріщиноутворення обумовлено зміною будівельно-технічних властивостей бетону під впливом струмів витоку.

Попередній аналіз можливих причин незвичайного обвалення і тріщиноутворення залізобетонних мостів та їх конструкцій, зміни будівельно-технічних властивостей бетону під впливом струмів витоку, а також аналіз останніх розробок вчених, зокрема Д.А. Пługіна і Л.В. Трикоз, дали можливість автору припустити, що основною причиною цих руйнувань є надлишкові негативні заряди від струмів витоку. В літературних джерелах немає будь-яких досліджень і опису механізму впливу таких надлишкових зарядів на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій.

У зв'язку з цим, тема дисертації, присвячена розкриттю механізму дії надлишкових негативних зарядів від струмів витоку на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій і збільшенню тріщиностійкості таких конструкцій, є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана на кафедрі «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» Української державної академії залізничного транспорту в складі держбюджетних науково-дослідних тем за планами НДДКР Міністерства інфраструктури України «Розробка теоретичних основ та експериментальні дослідження впливу струмів витоку і блукаючих струмів на бетон і розчин бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій» (0110U002128) і за планами НДДКР Державної адміністрації залізничного транспорту України «Укрзалізниця»: – № 31/11-ЦТех/81/2011-ЦЮ «Розробка та випробування нових конструктивних рішень захисту від

електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа»; – № 25/11-ЦТех-75/2011-ЦЮ «Проведення досліджень і розробки рекомендацій із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць».

Мета дослідження – виявлення механізму виникнення внутрішніх напружень і тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях від впливу надлишкового негативного електричного заряду, викликаного струмом витоку з рейкової колії, і розробка заходів щодо збільшення тріщиностійкості конструкцій.

Наукова гіпотеза: основним чинником виникнення тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях на ділянках залізничних колій, електрифікованих постійним струмом, є вплив надлишкових електричних зарядів, викликаних струмами витоку, який призводить до виникнення великих сил відштовхування між гідросилікатними частинками і великого тиску набухання гелю всередині кристалогідратного каркаса цементного каменю.

Завдання дослідження: – виконати критичний аналіз літературних джерел і натурні дослідження щодо впливу струмів витоку на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій залізничних споруд на ділянках колії з постійним струмом; – розробити нові теоретичні уявлення про механізм виникнення надлишкових електричних зарядів від струмів витоку і їх руйнівної дії на бетон конструкцій; – виконати лабораторно-експериментальні дослідження з перевірки розроблених теоретичних уявлень; – розробити заходи щодо підвищення тріщиностійкості бетонних і залізобетонних конструкцій в умовах надлишкових негативних зарядів і впровадити результати досліджень.

Об'єкт дослідження – цементний камінь, бетон, струми витоку і надлишкові електричні заряди.

Предмет дослідження – явища і процеси, що визначають виникнення внутрішніх напружень і тріщин у цементному камені і бетоні, механізми тріщиноутворення в бетоні.

Методи дослідження. Дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів виконували за допомогою стандартних методів. Дослідження дії надлишкових зарядів на бетон – за допомогою створеної оригінальної установки з дотриманням режиму руху поїздів. Фазовий склад цементного каменю і його мікроструктуру досліджували за допомогою комплексу фізико-хімічних методів – оптичної та електронної мікроскопії, рентгенівської та інфрачервоної спектроскопії. Поширення електричного поля від струмів витоку з рейок на обводнені бетонні, залізобетонні і кам'яні конструкції та споруди досліджували за допомогою цифрових мультиметрів, оснащених інтерфейсом з комп'ютером, і спеціально виготовлених датчиків.

Достовірність отриманих результатів дослідження забезпечена використанням у теоретичних дослідженнях закономірностей колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем, застосуванням комплексу сучасних фізико-механічних та фізико-хімічних методів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розвинені теоретичні уявлення про тріщиноутворення в бетоні конструкцій залежно від структури бетону при дії надлишкових негативних зарядів.

2. Розкрито механізм тріщиноутворення бетону під впливом надлишкового негативного заряду, який полягає в тому, що цей заряд викликає великий тиск відштовхування між частинками і глобулами гелю, який передається на електрогетерогенні контакти кристалогідратного каркаса, розриваючи його.

3. Проведені експериментальні дослідження для визначення причин виникнення тріщин і встановлено, що головним фактором є струм витоку з рейкової колії, який викликає поляризацію бетонних і залізобетонних конструкцій і виникнення в них зон з надлишковим негативним електричним зарядом.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено проект і виконано дослідне відновлення бетонної опори високої пасажирської платформи зупинного пункту Водяне Південної залізниці із захистом її від проникнення і накопичення в ній надлишкового заряду. Розроблено комплексні рекомендації щодо захисту конструкцій пасажирських платформ від електрокорозії під дією надлишкового заряду від струмів витоку з рейкової колії, в т. ч. за допомогою гідроізоляційного шару-корита і захисного сталевого заземленого екрана.

Матеріали дисертації увійшли в галузеві рекомендації: – «Рекомендації із захисту від корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях», 2010 р.; – «Рекомендації із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа», 2013 р.; – «Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць», 2011 р.; – «Звіт з рекомендаціями щодо збільшення міжремонтних термінів фарбування мостів».

Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі при читанні лекцій, проведенні лабораторних і практичних занять, дипломному проектуванні при підготовці фахівців і магістрів УкрДАЗТ будівельних спеціальностей.

Особистий внесок здобувача. Огляд літератури за тематикою дослідження, формулювання наукової гіпотези, більшість фізико-механічних випробувань, електрометричних та фізико-хімічних досліджень, обробка, розрахунки та отримання експериментальних залежностей виконані автором особисто. Експериментальні та натурні дослідження виконані спільно з співавторами публікацій. Участь автора в спільних публікаціях відображено в переліку опублікованих робіт.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідалися на таких конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених БДТУ ім. В.Г. Шухова, Белгород, Росія, 23 травня 2013 р.; 69-й науково-технічній конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури (Харків, 18 – 20 лютого 2014 р.), а також на щорічних Міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту (Харків, 2010 – 2014 рр.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 9 статтях у збірниках наукових праць, рекомендованих МОН України, в т. ч. 2 – у виданні, включеному в міжнародні наукометричні бази.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, основних висновків, списку літератури з 159 найменувань на 17 сторінках; містить 140 сторінок основного тексту, 106 рисунків, 6 таблиць, 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, позначена мета і завдання дослідження, наукова новизна (гіпотеза) і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі виконано аналітичний огляд праць вчених про причини виникнення внутрішніх напружень і тріщин у бетоні, механізмах впливу постійного струму на бетонні і залізобетонні конструкції.

Дослідженнями впливу електричного струму (постійного і змінного) на бетонні і залізобетонні конструкції в різних умовах експлуатації займалися багато вчених: А. Є. Арчембелт, А.А. Кнудсон, В. Мак. Колум, І.Дж. Ніколас, Г. Моле, Г.М. Мегі, Є.В. Роза, а також вітчизняних: С.Н. Алексєєв, В.І. Бабушкін, Ф.М. Іванов, В.А. Кінд, В.М. Москвін, Е.А. Гузеєв, М.Г. Булгакова, О.П. Мчедлов-Петросян, І.В. Стрижевський та його школа, В.С. Артамонов, Г.А. Вакуленко, Т.Г. Кравченко, І.А. Корнфельд, А.В. Котельников, Ю.І. Міхельсон, В.А. Притула, Е.П. Селєдцов, А.П. Сівцов, В.М. Слукін, В.П. Фішман, А.А. Старосельський, А.Н. Плугін, А.А. Плугін та ін.

В роботах щодо впливу постійного струму на бетон точки зору авторів вельми суперечливі. Так, Моле не зафіксував відмінності хімічного складу бетону в катодній і анодній зоні. Магнуссон і Сміт після дослідження впливу електричного струму на бетонні зразки зробили висновок, що міцність зразків не змінилася. Інші вчені помітили такі зміни в конструкціях внаслідок впливу постійного електричного струму: – процеси масопереносу в бетоні призводять до руйнування; – відбувається зміна структури і речового складу цементних матеріалів в приелектродних зонах і в об'ємі матеріалу; – явища виносу продуктів корозії арматури, гідрату окису кальцію на поверхню бетону, а також інтенсифікація процесів карбонатації в приарматурній зоні.

В.С. Артамонов зафіксував локальні зони руйнування бетону у вигляді виносу $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з цементного каменю в навколишнє середовище при щільності струму $43 \text{ mA}/\text{dm}^2$. О.О. Старосельський встановив, що в анодній і катодній зонах можуть розвиватися безперервні мікротріщини, обумовлені розчиненням кристалогідратів у цементному камені, середній розмір яких дорівнює 500 нм. У катодній зоні їх кількість і довжина набагато менша, ніж в анодній зоні.

Виконано критичний аналіз існуючих способів захисту бетонних і залізобетонних конструкцій від впливу постійного електричного струму витоку. Було встановлено, що всі існуючі способи активного захисту (катодного і протекторного) залізобетонних конструкцій від електрохімічної корозії і електрокорозії не можуть бути застосовані в умовах надлишкових негативних зарядів Землі, оскільки вони призведуть до інтенсифікації тріщиноутворення.

Єдиним ефективним способом може виявитися спосіб глибинного заземлення з діодом, поверненим у бік конструкції катодом.

Виконаний критичний аналіз показав суперечливість існуючих теоретичних уявлень і експериментальних даних і недооцінку електрокорозії цементного каменю і бетону в бетонних та залізобетонних конструкціях. Дослідження і аналіз характеру руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій, які експлуатуються на електрифікованих постійним струмом залізничних лініях дали змогу автору припустити, що основною причиною цих руйнувань є надлишкові негативні заряди від струмів витоку.

Як зазначалося, робіт з виникнення тріщин у результаті впливу на бетон постійного струму мало, відповідно, робіт щодо впливу надлишкових зарядів, створюваних струмами витоку з рейкової колії на тріщиноутворення бетону та залізобетону немає взагалі.

Як відомо, існуючі уявлення і теорії тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій ґрунтуються на основних положеннях опору матеріалів. Однак опір матеріалів будується на ідеалізованому уявленні матеріалу і тіла як суцільного середовища або як суцільного середовища з наявністю в ньому мікротріщин та інших концентраторів напружень. Таке уявлення не зовсім відповідає реальній структурі й будові матеріалів, у зв'язку з чим виникає необхідність розробки нових теоретичних передумов для розвитку уявлень про механізм впливу надлишкових негативних зарядів, створюваних струмами витоку з рейкової колії, на тріщиноутворення бетону.

У другому розділі наведені характеристики основних матеріалів і методів дослідження. Для експериментальних досліджень використовувалися бетонні зразки зі стандартних будівельних матеріалів: портландцемент; пісок кварцовий (модуль крупності 1,1 ÷ 1,2); щебінь гранітний; вода питна водопровідна. Для виготовлення плоских перфорованих електродів застосовувалася листовая сталь товщиною $\delta = 2$ мм, марка – Ст3 і нержавіюча сталь товщиною $\delta = 1$ мм, марка – 08×18н10т. Бічні поверхні бетонних зразків покривалися у два шари епоксидно-кам'яновугільним складом ЗС-3.

Методика включає в себе натурні і лабораторні дослідження дії електричного струму на бетон в обводнених і вологих умовах експлуатації. Для вимірів постійних потенціалів на конструкціях, реєстрації характеру їх зміни в часі використовувалися сучасні прилади та обладнання: мультиметр цифровий Sanwa PC500 (Японія), ПК і ноутбук для натурних і лабораторних вимірювань. Вимірювання на поверхні бетонних конструкцій проводились за допомогою спеціального датчика з губкою, просоченою мідним купоросом. Для фіксування та реєстрації виникнення внутрішніх напружень в бетоні були виготовлені датчики з константанового дроту діаметром $\varnothing 0,15$ мм шляхом намотування на бічну поверхню досліджуваних зразків у 5 – 6 витків з обклеюванням епоксидною смолою. Для чутливості змін, які можуть відбуватися в датчиках, вони були включені в мостову вимірювальну схему, складену з магазинів опору.

При моделюванні впливу блукаючих струмів і струмів витоку на бетон у лабораторних умовах використовувалася схема, яка відповідала реальним умовам

експлуатації та режиму руху поїздів з електротягою. Отримані дані додатково оброблялися в програмах MS Excel і за ними будувалися відповідні графіки.

Використовувалися такі фізико-хімічні методи досліджень продуктів гідратації цементного клінкеру і продуктів корозії цементного каменю: інфрачервона та рентгенофазова спектроскопія, оптична мікроскопія, електронна мікроскопія. Інфрачервоні спектри (ІКС) знімали за допомогою спектрометра "ALPHA", що підключається до ЕОМ з програмним забезпеченням OPUS, в інфрачервоній області хвильових чисел $400 - 4000 \text{ см}^{-1}$. Рентгенофазовий аналіз цементного каменю бетону і продуктів корозії проводили на дифрактометрі ДРОН-3, модернізованому з виходом на ЕОМ і з використанням програмного комплексу DIFWIN1 для зображення рентгенограм і рентгенографічних характеристик. Електронно-мікроскопічні дослідження мікроструктури цементного каменю проводили за допомогою сканувального електронного мікроскопа JSM-6390LV (Японія, 2009).

У третьому розділі наведені теоретичні уявлення про механізм виникнення внутрішніх напружень і тріщин під дією надлишкового негативного заряду від постійного електричного струму на бетонні і залізобетонні конструкції.

Надлишковий негативний заряд Землі – це електричний заряд, величина якого значно більше заряду, відповідного її середній (рівноважній) напруженості електрополя, обумовленого термодифузією електронів з розпеченого ядра Землі.

Крім того, надлишковий негативний (а також позитивний) заряд виникає в локальних зонах Землі за рахунок зносу дощовими водами і водами від сніготанення катіонів ґрунту з узвишся до узбережжя з виникненням, відповідно, електрополя між узбережжям океану, моря або річки і узвишсям суші. Надлишковий заряд Землі переходить у локальні місця обводнених конструкцій (з бетону, залізобетону, металу) або в ґрунти.

В дисертації розглядається надлишковий негативний заряд від струмів витоку з рейок, електрифікованих постійним струмом залізничних колій, що викликає поляризацію ґрунту і конструкцій. При цьому його значна величина виникає на окремих ділянках обводнених бетонних, залізобетонних і металевих конструкцій.

Розроблено теоретичні передумови для розвитку уявлень про механізм впливу надлишкових негативних зарядів, створюваних струмами витоку з рейкової колії, на тріщиноутворення бетону. В основу цих уявлень покладено результати критичного аналізу положень опору матеріалів та механіки руйнування матеріалів, який виконаний з урахуванням уявлень про електроповерхневі властивості простих і складних речовин, а також про реальну структуру цементного каменю і бетону.

Опір матеріалів розглядає матеріал як суцільне середовище, а її реальна міцність, на відміну від теоретичної, величезної за величиною, що перевищує сотні тисяч МПа, обумовлена наявністю в матеріалі мікротріщин, що набагато зменшують реальну міцність матеріалів.

Механіка руйнування матеріалів виходить з основних положень теорії Гріффітса про концентрацію напружень на кінці тріщини, розвиваючи їх з урахуванням пластичних деформацій.

Ю.В. Зайцев на підставі теорії пружності вивів формули для вивільненої енергії деформації U і енергії, яка витрачається на утворення двох нових поверхонь тіла (тріщина). На основі цих формул ним обґрунтована «критична» половина довжини

тріщини l_0 , перевищення якої призводить до її стрімкого зростання, і критичне напруження σ_0 для неї (при $\sigma < \sigma_0$ довжиною $2l$ не збільшується, а при $\sigma > \sigma_0$ – розвивається безупинно).

Однак, викладені уявлення та механізми не в повному обсязі відповідають реальним, що обґрунтовується далі. За уявленнями наукової школи кафедри БМКС УкрДАЗТ, суцільне середовище, тобто суцільна нерозривна матерія, як і суцільна абсолютна порожнеча існувати не можуть. Крім того, дослідями Корнфельда (Інститут кристалографії ім. Шубнікова) достовірно встановлено, що на розділених (розколених) поверхнях виникають дуже великі електричні заряди і потенціали. Останні досягають величини 15 В (для кристалів NaCl), тримаються кілька хвилин і нейтралізуються за рахунок атомів і молекул повітря. Тобто тріщини, які розкриваються, не можуть бути абсолютно порожніми, на кожній розділеній поверхні відразу виникають подвійні електричні шари, що перешкоджають розкриттю тріщини. Нарешті, переважна за обсягом субмікроструктура продуктів гідратації цементу складається з гідросилікатного гелю, в якому порожнечі між його частинками завжди заповнені фізико-хімічно зв'язаною водою, і її можна повністю видалити лише при прожарюванні (температура 500 °С і більше).

Отже, положення механіки руйнування бетону також не можуть бути використані нами для розвитку теоретичних уявлень і експериментальних досліджень про вплив надлишкових електричних зарядів, викликаних струмами витоку з рейкової колії на тріщиноутворення бетону.

Для розвитку теорії тріщиноутворення можуть бути використані схеми виникнення великих значень місцевих напружень (концентрації напружень) у торці поздовжньої пори або в кінці тріщини з використанням електрогетерогенних контактів (ЕГК), рис. 1.

З урахуванням цієї схеми зусилля розтягання зразка F_p передається на ЕГК, який перешкоджає виникненню тріщини. В результаті слід говорити не про концентрацію напружень, а про концентрацію сили на електрогетерогенному контакті. При цьому гранична сила, яку може витримати електрогетерогенний контакт, визначається за кулонівською іон-іонною взаємодією. У такий ЕГК вільно проникне іон ОН-породжений надлишковим негативним зарядом, і частково нейтралізує ПВІ Ca^{2+} , що сприятиме виникненню тріщини. Однак така схема стосовно до бетону також не позбавлена недоліків. У бетоні слід розглядати не поздовжню пору, а об'єм між кристалогідратами, що утворюють її та гель, що заповнює цю пору.

В дисертації розширено уявлення про структурні характеристики бетону – коефіцієнти розсунення зерен щебеню α і піску μ , в т. ч. оптимальних за тріщиностійкістю, стосовно до механізму виникнення тріщин у ньому. Показано, що залежно від величин α і μ змінюються товщини прошарків цементного каменю або розчину і відповідно в них виникають або є відсутні мікротріщини в прошарках розчину і цементного каменю (рис. 2).

Відповідно до схем на рис. 2 головним чинником тріщиноутворення є розклинювальний ефект у прошарку між частинками піску і між частинками цементу. При взаємному переміщенні цих частинок між ними виникають мікротріщини, вони послаблюють розчин у бетоні і цементний камінь у розчині, – з

них починається розвиток тріщин у бетоні в цілому.

У бетоні з контактами, відповідними схемі посередині, рис. 2, таке розклинювання зведено до мінімуму, і такий бетон є оптимальним за тріщиностійкістю. При цьому забезпечення максимальної тріщиностійкості бетону досягається за рахунок оптимізації В/Ц і застосування добавки-суперпластифікатора в оптимальній кількості (в межах 0,2 – 0,3 % від витрати цементу Ц і уточнюється за допомогою віскозиметра ВЗ-1).

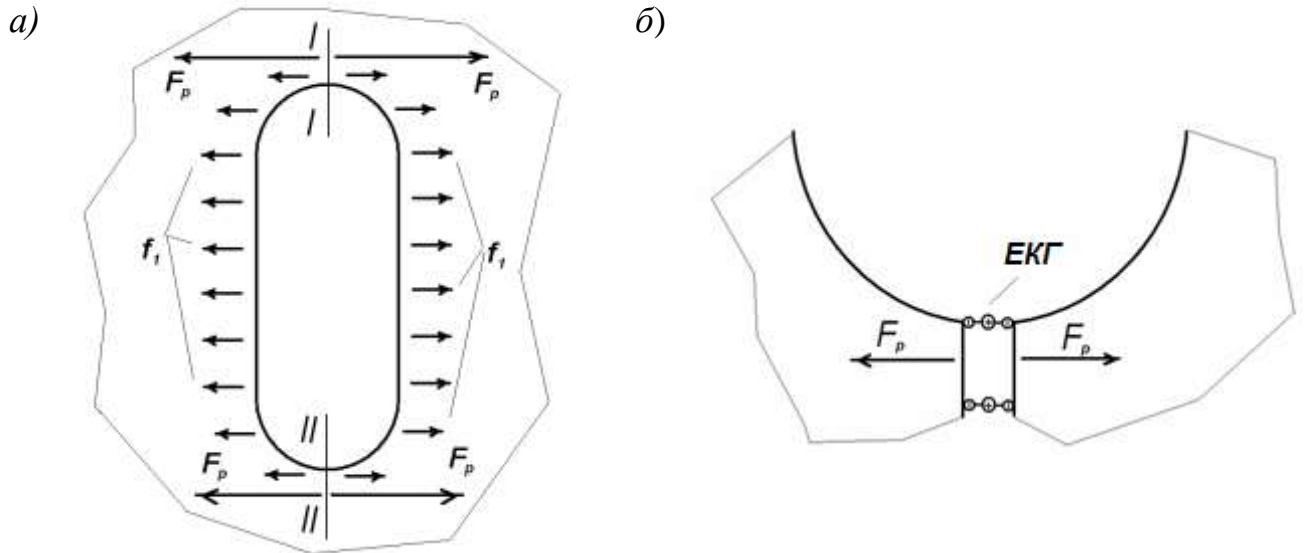


Рис. 1. Схема виникнення місцевих напружень (концентрації напружень) у торці поздовжньої пори або в кінці тріщини (а) і ЕКГ у перетинах I – I та II – II (б)

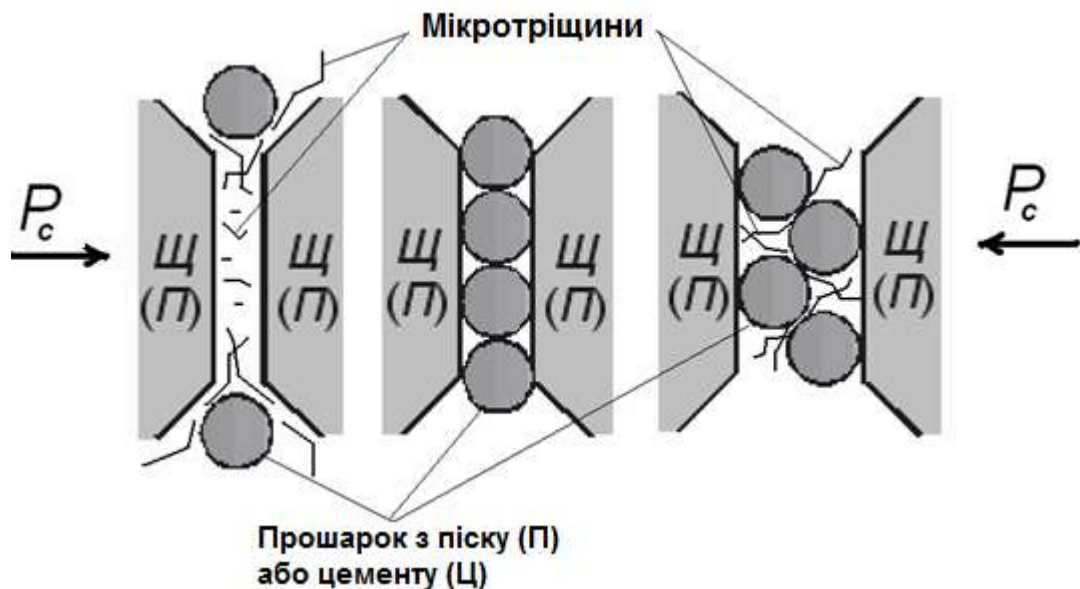


Рис. 2. Узагальнена схема прошарків розчину між зернами щебеню і цементного каменю, а також між зернами піску

Надлишковий негативний заряд, проникаючи в бетон збільшує концентрацію іонів OH^- у порах бетону. Це призводить до зниження основності гідросилікатів

кальцію, зменшення величини поверхневого заряду кристалогідратів, особливо портландиту за рахунок часткової або навіть повної нейтралізації потенціаловизначальних іонів ПВІ Ca^{2+} на них, і збільшення поверхневого негативного заряду частинок гелю. Ці фактори призводять, з одного боку, до зменшення кількості електрогетерогенних контактів у цементному камені і на поверхні заповнювачів, послаблюючи цим бетон, а з іншого боку – до набрякання гелю за рахунок виникнення відштовхування між його частинками.

Розроблено схему виникнення розтягуючих внутрішніх напружень від дії надлишкових негативних зарядів (рис. 3) і виведено вираз для тиску набрякання гідросилікатного гелю в кристалогідратному каркасі, який викликає виникнення тріщини:

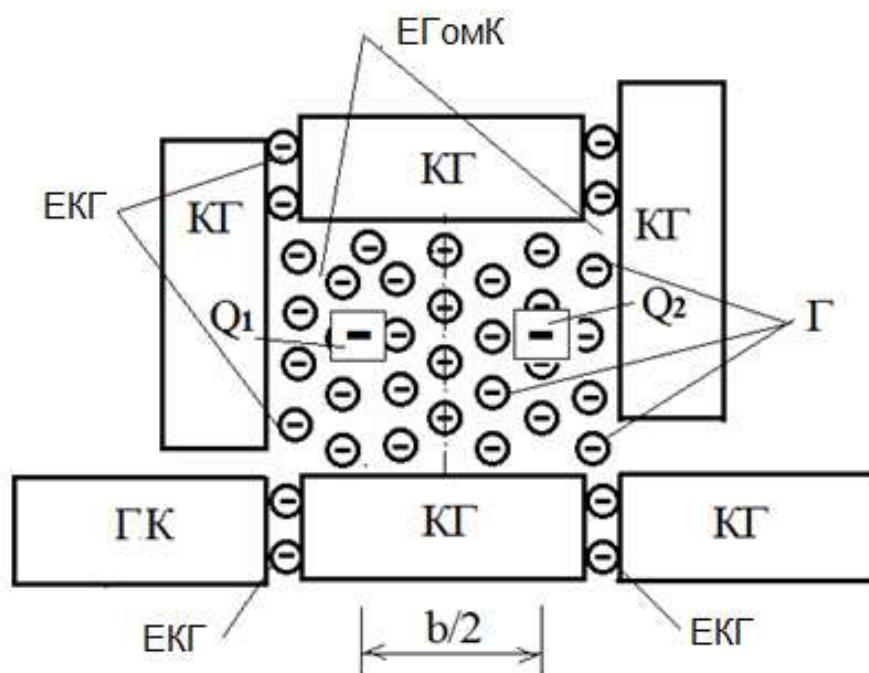


Рис. 3. Схема виникнення внутрішніх розтягуючих напружень від дії надлишкових негативних зарядів

$$P_{НАБ} = \frac{\varepsilon_1^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot (\varepsilon - 1)^2 \cdot U_p^2 \cdot s_\Gamma^2 \cdot b^2 \cdot C^2 \cdot \alpha^2 \cdot \gamma_\Gamma^2 \cdot \rho_\Gamma}{4\pi \cdot d_1^2 \cdot \varepsilon^3}, \quad (1)$$

де ε_1 і ε_0 – відносна і абсолютна діелектрична проникність вакууму; ε – відносна діелектрична проникність водонасиченого бетону; U_p – напруга на поверхні бетону від струму витoku, В; d – відстань між частинками або глобулами гідросилікатного гелю; C – витрата цементу, т; ρ_Γ – щільність гелю, т/м³; s_Γ – питома поверхня гелю, м²/т; α – ступінь гідратації цементу; γ_Γ – частка гелю в продуктах гідратації цементу.

Згідно з розрахунком за даною формулою при $l = 1$ м, $\varepsilon = 10$, $U = 1$ В, напруга між частинками гелю буде дорівнювати 320 МПа. При таких напруженнях частинки

гелю розривають електрогетерогенні контакти цементного каменю.

В четвертому розділі подано результати лабораторних досліджень, що проводяться для перевірки основних теоретичних положень щодо виникнення внутрішніх напружень і тріщин у бетоні від впливу постійного електричного струму і, відповідно, надлишкових електричних зарядів.

Дослідження надлишкового негативного, а також позитивного зарядів здійснювали, створюючи їх шляхом подачі на зразки пульсуючої однонаправленої електричної напруги (ПОЕН). При кожному циклі відбувалася поляризація бетону з поділом на область надлишкових негативних (вгорі зразка) і позитивних (внизу зразка) зарядів. В умовах постійної напруги (нециклічної) вплив надлишкових зарядів, як показали дослідження, є дуже незначним.

Вплив струму витoku з рейки на бетонний зразок-основу під рейкою. Імітація бетону залізобетонної шпали здійснювалася за допомогою бетонного зразка $100 \times 150 \times 100$ мм, міцність якого з метою прискорення експерименту дорівнювала 10 МПа (100 кг/см^2). Зразок поміщали в ємність з проточною водою, потім підключали джерело постійного струму з періодичністю подачі напруги: 8 хв – вкл. і 10 хв – викл. (рис. 4).

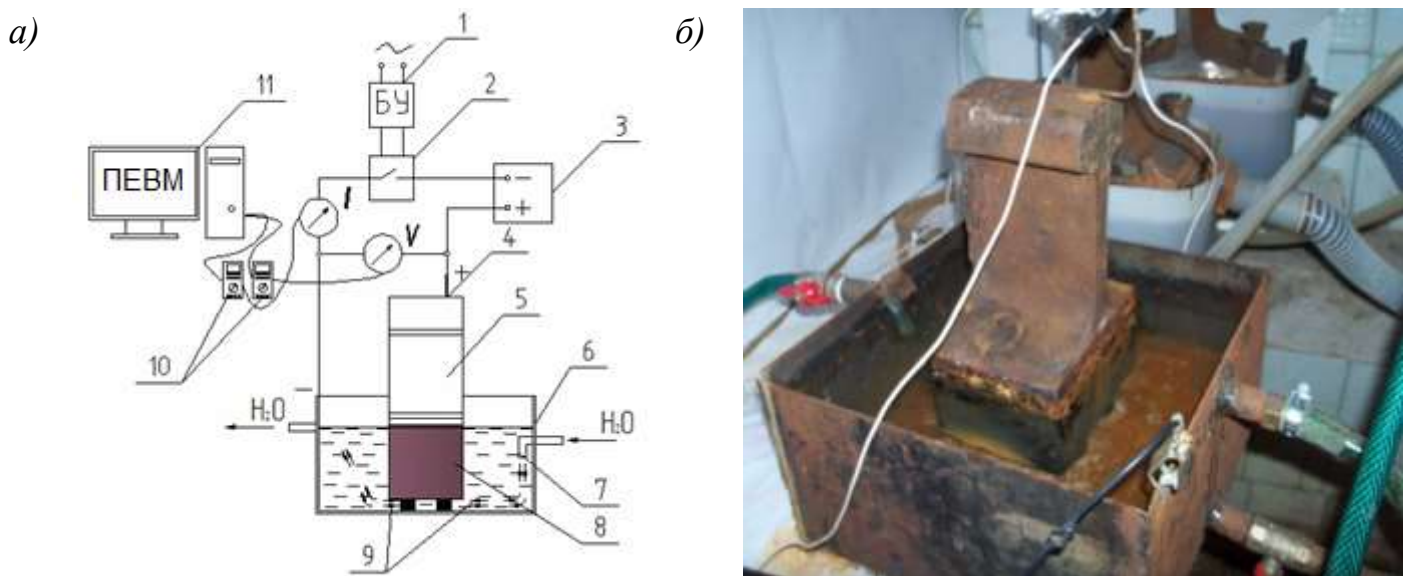


Рис. 4. Лабораторна установка для дослідження впливу струму витoku з рейки у водонасиченому стані бетону: а) схема установки: 1 – програмований блок управління; 2 – реле; 3 – джерело живлення; 4 – електрод; 5 – рейка Р65; 6 – металева ємність; 7 – трубка подачі води; 8 – бетонний зразок, покритий складом ЗС-3; 9 – потік води; 10 – вимірювальні прилади; 11 – ПЕОМ; б) частина установки для лабораторних досліджень

Дані сили струму автоматично записували за допомогою програми PC Link (Plus) у пам'ять ПК через кожні 2 секунди. Отримані дані додатково обробляли в програмі MS Excel і за ними будували графіки зміни сили струму і різниці потенціалів поляризації від часу (рис. 5).

При проведенні лабораторного експерименту після 400 – 450 годин пропускання електричного струму виникли тріщини спочатку на підшві, а потім на бічних

гранях зразка (рис. 6, а, б). При досягненні 5375 годин обробки струмом зразок зруйнувався (рис. 6, в). Як видно, вплив надлишкових зарядів від пульсуючої однонапрямленої постійної напруги ПОЕН, що подається на зразок, призвів до виникнення тріщин, а потім і повного руйнування зразка.

а)



б)



Рис. 5. Результати досліджень впливу ПОЕН у водонасиченому стані бетону протягом 5375 годин (17800 циклів): а) графік зміни сили струму в часі; б) графік різниці сили струму в циклах

а)

б)

в)



Рис. 6. Лабораторний зразок-основа: *а)* збільшений фрагмент з тріщинами після 400 годин обробки струмом; *б)* утворення тріщин на бічній грані зразка-основи; *в)* руйнування зразка-основи після 5000 годин обробки струмом

Дослідження за допомогою рентгенографії (РГ) і інфрачервоної спектроскопії (ІКС) фазового складу бетону зразка-основи під рейкою однозначно показали, що напруга 30 В, що імітує напругу на рейках, викликає сильне вилугування цементного каменю за рахунок розчинення портландиту $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і знижує основність гідросилікатів кальцію (ГСК). Це зменшує кількість електрогетерогенних контактів у цементному камені і призводить до виникнення внутрішніх розтягуючих напружень за рахунок сил відштовхування між частинками гідросилікатів кальцію, обумовлених накопиченням негативного надлишкового заряду в зразку.

Вплив надлишкового негативного заряду, створюваного пульсуючою однонаправленою напругою, на бетонні зразки різної форми. Надлишкові заряди і електрополя Землі передаються на бетонні і залізобетонні, як і інші, конструкції безпосередньо, не через рейки. При цьому, як і при дії струмів витoku, в бетоні виникають зони надлишкового заряду. В зонах надлишкового заряду може відбуватися збільшення внутрішніх розтягуючих напружень (за рахунок відштовхування однойменно заряджених частинок цементного каменю), а також зниження міцності, виникнення деформацій і навіть тріщиноутворення в бетоні. Тому нами були проведені експерименти, спрямовані на перевірку цих уявлень на бетонних зразках різної форми: кубічної, призматичної і плоскої циліндричної, рис. 7.

а)

б)

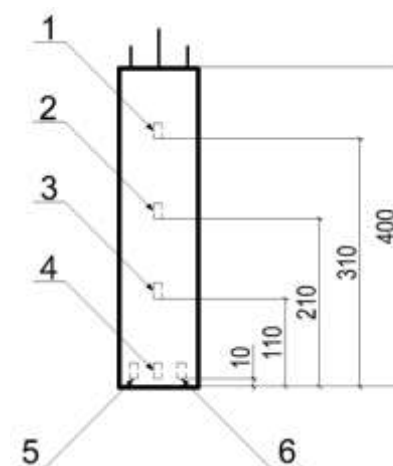




Рис. 7. Фото зразків під час обробки електричною напругою (а) і схема розташування електродів у призматичному зразку (б)

На дослідні зразки подавали ПОЕН. Випробовуваний зразок-призму (10×10×40 см) міцністю 10 МПа (для прискорення експерименту) занурювали в проточну воду на 1/4 її висоти. Напругу 30 В від джерела живлення передавали через верхній електрод-пластину з отворами з нержавіючої сталі і корпус ємності (рис. 7, а). У зразку-призмі на різній відстані по висоті розташовані електроди з кроком 100 мм. Вимірювали різницю потенціалів «верхній електрод – закладний електрод» відповідно до схеми (рис. 7, б), і силу струму в колі. Загальний час впливу електричним струмом на зразок склав 25626 годин, що відповідає 4,7 року експлуатації бетонної або залізобетонної конструкції на вантажнонапружених ділянках колії.

Виконано дослідження за допомогою оптичної мікроскопії нижньої грані зразка із збільшенням фрагментів з тріщинами (рис. 8, а, б, в). Виявлені 3 тріщини. Тріщина 1 має довжину близько 30 мм і ширину розкриття менш 0,05 мм. Тріщина 2 шириною 0,03 – 0,07 мм повністю заповнена новоутвореннями білого кольору. Тріщина 3 має довжину близько 20 – 25 мм і ширину розкриття менш 0,05 мм.

Виконано також дослідження структури цементного каменю бетону на різній висоті зразка після впливу ПОЕН за допомогою електронного сканувального мікроскопа, рис. 8, г. В цементному камені верхньої та нижньої ділянок зразка частинки портландиту містяться в невеликій кількості (трохи більше вгорі, в порівнянні з низом). У нижній частині зразка відмічено наявність етtringіту біля мікрокапіляра і окремих кристалів портландиту $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Така невелика кількість портландиту у верхній і нижній частинах, а також утворення етtringіту в зоні капіляра свідчить про інтенсивне вилуговування з утворенням великих пор і капілярів внаслідок впливу ПОЕН.

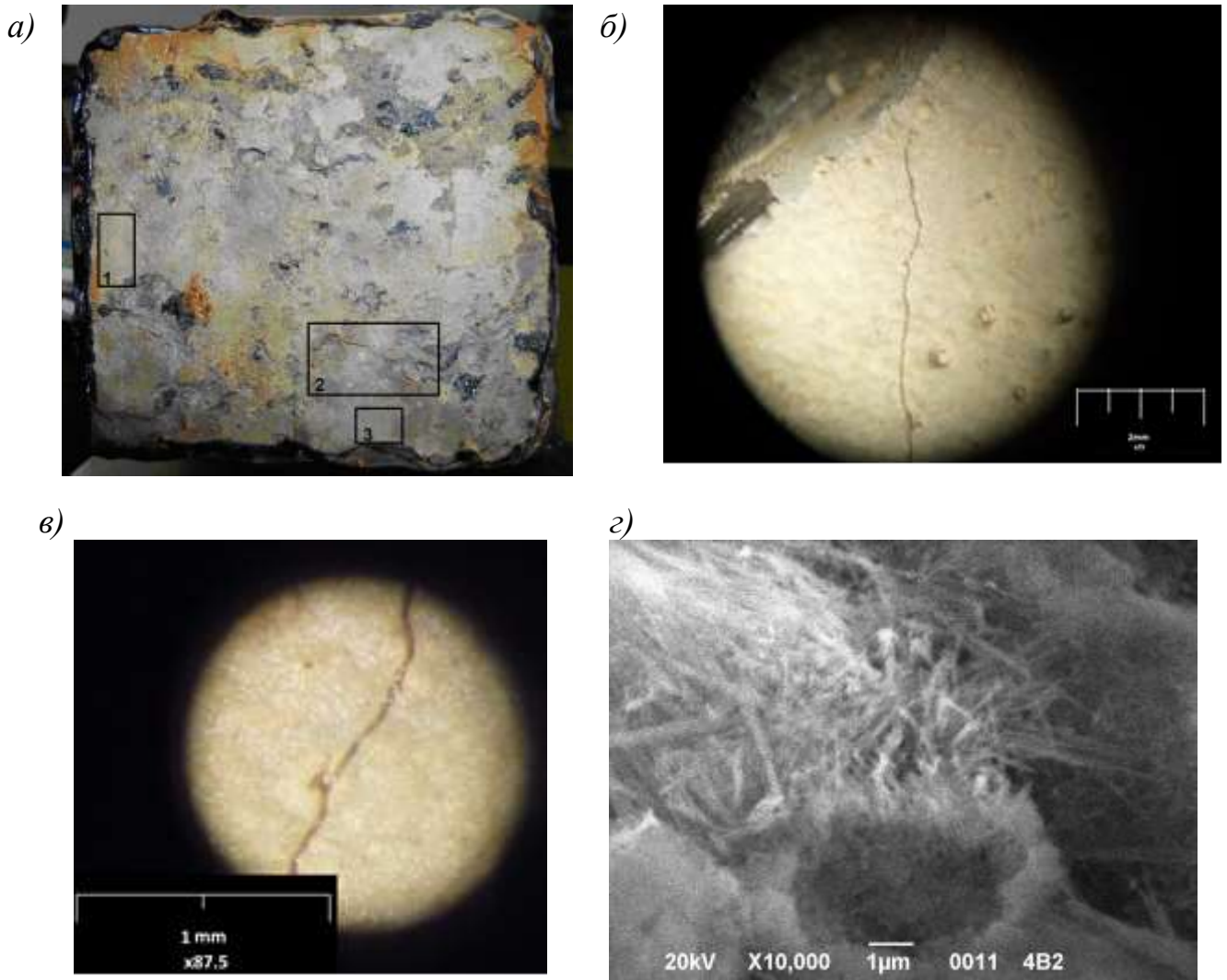


Рис. 8. Мікроструктура бетонного зразка-призми: а) нижня грань зразка з виділеними фрагментами тріщин; б) фрагмент тріщини 1, $\times 25$; в) фрагмент тріщини 3, $\times 87$; г) ЕМЗ цементного каменю бетону з нижньої частини зразка, $\times 5000$

Бетонний зразок Б2 був випробуваний на міцність у різних зонах по висоті. Випробування показали, що найбільшу міцність бетону має середня зона зразка-призми, а верхня і нижня зони – істотно меншу. У порівнянні з міцністю контрольного необробленого струмом зразка, міцність основного зразка після обробки ПОЕН знизилася практично вдвічі.

Для дослідження впливу пульсуючого однонаправленого постійного струму на виникнення в обводненому бетоні механічних напруг і тріщин виготовлені бетонні зразки-куби $100 \times 100 \times 100$ мм з встановленим зверху сталевим електродом з отворами. На зразки-куби намотували і обклеювали епоксидною смолою по три однакових датчики з константанового дроту – вгорі, посередині і внизу куба, позначаючи ці положення в маркуванні датчиків. Датчик № 3-1 міститься у верхній зоні зразка, № 3-2 – в середній зоні, а № 3-3 – в нижній зоні (для спрощення, верхній, середній і нижній датчики). Датчики були включені в мостову вимірювальну схему.

На рис. 9 подано графік зміни струму в часі, що виникає у вимірювальній діаго-

налі бетонного зразка № 3, який піддавався впливу ПОЕН, і контрольного № 4 (без обробки струмом).

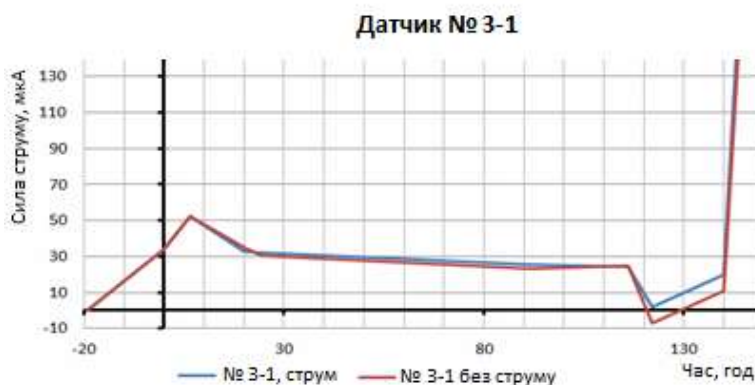
У всіх датчиках у різний час стався обрив в залежно від їх розташування по висоті зразка. Першим обірвався верхній датчик (через 163 години обробки ПОЕН), другим – середній (через 800 годин) і останній – нижній (через 1840 годин). Згідно з таруванням датчиків, збільшення струму означає збільшення поперечних розтягуючих напруг і деформацій бетонного зразка. Набагато більший вплив електричної напруги і проточної води обумовлено тим, що розтягуючі напруги починаються у верхній частині і опускаються вниз. Катіони кальцію під впливом цієї напруги також переносяться вниз.

Виконано за допомогою електронно-мікроскопічних знімків (ЕМС) дослідження мікроструктури цементного каменю з нижньої зони бетонного зразка, рис. 10. Спостерігається невелика кількість портландиту на цементних частинках і зернах піску, мікротріщини між ними і відсутність об'ємного портландиту через його розчинення.

На відміну від основного зразка № 3, що піддавався дії електричного струму, мікроструктура цементного каменю бетону контрольного зразка № 4, що знаходився тільки в проточній воді, набагато щільна, без ознак вимивання і вилюговування цементного каменю. Така відмінність між структурою бетону в контрольному № 4 і основному № 3 зразках підтверджує руйнівний вплив ПОЕН на бетон, і виникнення в ньому тріщин через надлишкового негативного заряду.

Дослідження впливу струмів витoku і виникнення внутрішніх напружень у бетоні і цементному камені плоских циліндричних зразків. Плоска циліндрична форма зразків ($H = 100$ мм, $D = 250$ мм) прийнята для виключення впливу великих сил латерального електроповерхневого відштовхування, що виникають на ребрах і кутах прямокутних конструкцій, руйнуючи їх. Три датчики деформацій R_x виготовлені шляхом намотування на бічну поверхню вгорі, посередині і внизу досліджуваного зразка по 5 витків константанового дроту діаметром $\varnothing 0,15$ мм з обклеюванням її епоксидною смолою.

a)



б)



в)



г)

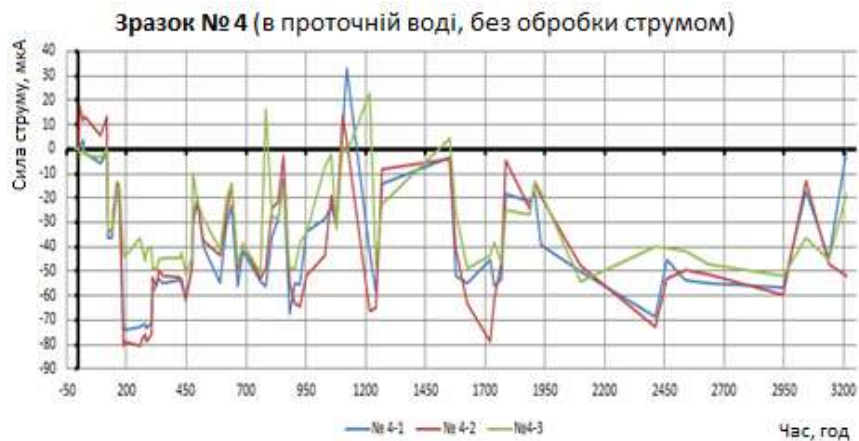


Рис. 9. Зміна струму у вимірювальній діагоналі моста зразка № 3 при впливі на нього ПОЕН протягом тривалого часу з датчиками: а) № 3-1 вгорі; б) № 3-2 посередині; в) № 3-3 внизу; г) контрольний № 4 – тільки в проточній воді; № 4-1, № 4-2 і № 4-3 – без обробки струмом

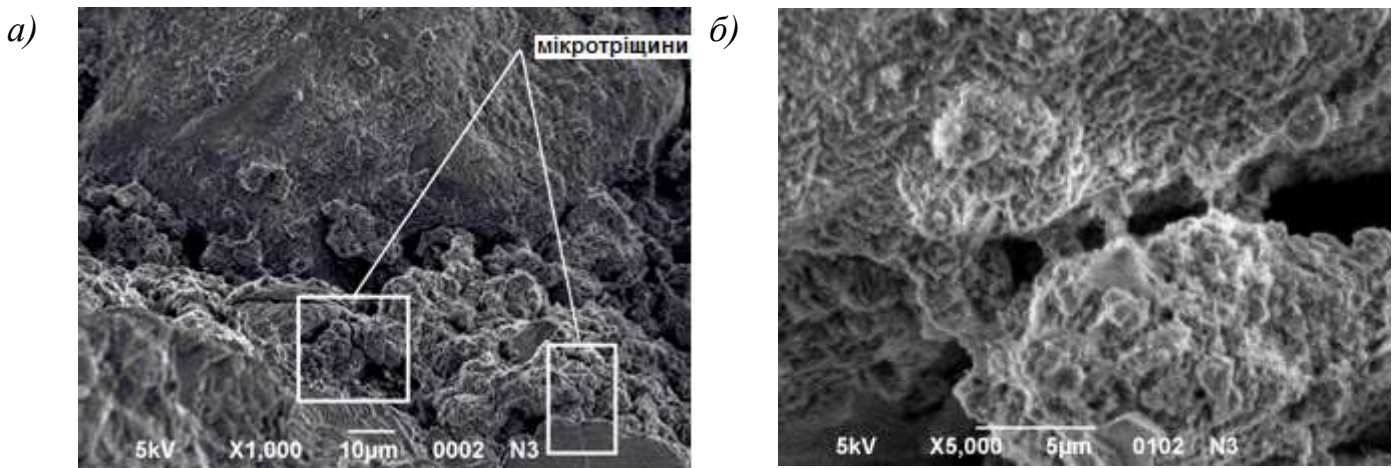


Рис. 10. ЕМЗ структури бетону основного зразка № 3: а) верхня частина, збільшення $\times 1000$; б) верхня частина, збільшення $\times 5000$

Отримані дані додатково обробляли в програмі MS Excel і за ними будували графіки зміни сили струму в часі. Згідно з отриманими графіками сила вимірюваного струму досягла істотних величин – до 250 мкА і більше (амплітуда коливань досягала 110 мкА), що відповідно до виставленого рівновагою містка відповідає розтягуючим напруженням. Їх величина велика, що впливає з різкого стрибка струму і обриву датчика в середині висоти зразка. В попередньо насиченому контрольному зразку механічні напруги і деформації розтягування по бічній поверхні розподілялися рівномірно по всій висоті, і їх величина була у шість і більше разів менша, ніж у зразка, обробленого пульсуючою напругою.

За період експерименту протягом 8582 годин верхній металевий перфорований електрод був уражений незначною корозією, що підтверджує накопичення в цій частині зразка надлишкового негативного заряду.

В мікроструктурі цементного каменю бетону з верхньої частини зразків, яку досліджували за допомогою ЕМЗ, спостерігаються ділянки з щільними блоками кристалічного портландиту, окремі блоки кальциту, а також гелеподібні гідросилікати кальцію. В цементному камені з нижньої частини зразків спостерігаються в основному тільки гелеподібні гідросилікати кальцію.

Дослідження фазового складу продуктів гідратації цементного каменю в основному і контрольному зразках виконано за допомогою рентгенографічного аналізу та ІЧ-спектроскопії. В цементному камені з бетону нижньої зони зразка інтенсивність ліній 0,303 нм, що характеризує кількість клінкерних мінералів, помітно менша, ніж з верхньої зони, що свідчить про більш високу інтенсивність вилуговування портландиту під впливом пульсуючої напруги. У контрольному зразку ця різниця ще більша. Характер зміни фазового складу продуктів гідратації, досліджений за допомогою ІКС, узгоджувався з даними за РГ і був подібний такому для кубічних зразків.

Таким чином, циліндрична плоска форма зразка не вплинула на фазовий склад новоутворень у зразку, обробленим пульсуючою напругою ПОЕН. Видимі тріщини в такому зразку також не виникли.

Встановлено, що максимальні тріщини і руйнування виникли в бетонному зразку під рейкою, що обумовленому поляризацією рейки і виникненням додаткового надлишкового негативного заряду в бетоні, а також збільшенням тривалості його впливу на бетон зразка. Коли напругу відключали, диполь рейки продовжував руйнувати бетон, а також рейка передавала свої вільні електрони бетонному зразку, які для нього були надлишковим електричним зарядом.

Фізико-хімічні дослідження (рентгенофазовий аналіз, інфрачервона спектроскопія, світлова та сканувальна електронна мікроскопія) різних бетонних зразків, після обробки ПОЕН, підтвердили розвинені в дисертації теоретичні уявлення.

У п'ятому розділі наведено дані виробничої перевірки теоретичних і експериментальних досліджень на Харківському залізобетонному шляхопроводі на 18 км ділянки Харків – Куп'янськ Південної залізниці. Підтверджено, що його передчасні руйнування, в т. ч. після капітального ремонту 3-річної давності, обумовлені дією надлишкових негативних зарядів, створених струмами витоку з рейкової залізничної колії, а також ліній метрополітену. Зроблено дослідний ремонт і відновлення аварійного опорного блока високої пасажирської платформи зупинного пункту Водяне Південної залізниці. Розроблено рекомендації щодо запобігання виникненню внутрішніх напружень і тріщин у залізобетонних конструкціях від впливу постійного пульсуючого струму і надлишкових зарядів. Отримані результати досліджень увійшли в рекомендації галузевого характеру (чотири документи).

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень за дисертацією склав 1090 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано критичний аналіз літературних джерел, на основі якого висловлена наукова гіпотеза про те, що основним фактором тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій у зоні електрифікованих постійним струмом залізничних шляхів є надлишковий негативний заряд від струмів витоку з рейкової колії. Обґрунтовано, що основні існуючі способи активного захисту конструкцій від електрохімічної корозії і електрокорозії не можуть бути застосовані в умовах цих надлишкових негативних зарядів, оскільки вони призведуть до інтенсифікації тріщиноутворення.

2. Розвинені теоретичні уявлення про вплив структури бетону на тріщиноутворення, розроблені відповідні схеми контактів у бетоні, показано, що головним фактором тріщиноутворення в бетонах неоптимальної структури є розклинювальний ефект у прошарку між частинками піску і між частинками цементу.

3. В результаті проведених натурних досліджень бетонних і залізобетонних конструкцій з тріщинами на ділянках шляху, електрифікованих постійним струмом, встановлено, що струм витоку з рейкової колії викликає поляризацію бетонних і залізобетонних конструкцій і виникнення в них зон з надлишковим негативним електричним зарядом, що є головним фактором виникнення тріщин.

4. В результаті виконаних експериментальних, в тому числі фізико-хімічних досліджень, підтверджено, що причиною виникнення тріщин є дія надлишкового негативного заряду від струму витоку з рейкової колії. Лабораторно-експериментальні дослідження з використанням дротяних тензодатчиків з константанового дроту підтвердили виникнення в бетоні механічних розтягуючих напружень, деформацій і тріщин під впливом надлишкового негативного заряду.

5. Виконано впровадження результатів досліджень за дисертацією: – розроблений проект і виконано дослідне відновлення бетонної опори високої пасажирської платформи зупинного пункту Водяне Південної залізниці з захистом її від проникнення і накопичення в ній надлишкового заряду; – розроблені комплексні рекомендації щодо захисту конструкцій пасажирських платформ від електрокорозії під дією надлишкового заряду від струмів витоку з рейкової колії, в т. ч. за допомогою гідро ізоляційного шару-корита, захисного сталевого заземленого екрана. Матеріали дисертації увійшли до чотирьох галузевих (по «Укрзалізниці») рекомендаційних документів у галузі захисту від електрокорозії і продовження термінів служби конструкцій шляхопроводів, мостів та залізничних тунелів.

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень склав 1090 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Конев А.А. Исследование влияния постоянного тока на трещинообразование бетона [Текст] / А.А. Конев // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА; ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 230-237.

2. Воздействие токов утечки на конструкции пассажирских платформ, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков пути [Текст] / О.С. Борзяк, Д.А. Плугин, О.С. Герасименко, А.А. Дудин, А.А. Конев // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА; ХОТВ АБУ, 2014. - Вип. № 1 (75). – С. 80 - 85.

Особистий вклад: аналіз стану пасажирських платформ, характеру руйнування від впливу постійного електричного струму витоку.

3. Трещинообразование в обводненном бетоне при воздействии постоянного электрического тока [Текст] / Ал. А. Плугин, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, А.А. Конев и др. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2013. – Вип. 142. – С. 173-181.

Особистий вклад: виконання лабораторних досліджень, дослідження ушкоджень та тріщиноутворення в бетоні.

4. Внутренние напряжения в бетоне, обусловленные электрическими воздействиями на него: экспериментальные исследования [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, А.А. Конев и др. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2013. – Вип. 138. – С. 102-119.

Особистий вклад: проведення експериментальних досліджень і вимірювань внутрішніх напружень, що виникають в константанових датчиках.

5. Экспериментальная проверка технологических характеристик и электросопротивления полимерцементного раствора с карбамидной смолой [Текст] /

В.В. Палий, А.Н. Пшинько, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, С.Г. Нестеренко, А.А. Конев // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип. 134. – С. 235-241.

Особистий вклад: виконання експериментальних досліджень.

6. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип. 130. – С. 64-70.

Особистий вклад: моделювання впливу струмів витоку і блукаючих струмів на бетон, цементний камінь і рейки.

7. Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления [Текст] / Ал.А. Плугин, О.С. Борзяк, А.А. Дудин, А.А. Конев, А.А. Плугин // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 127. – С. 204-212.

Особистий вклад: аналітичний огляд способів активного захисту і розробка пристрою діодного заземлення.

8. Анализ влияния агрессивных действий на конструкции та споруди залізниць: верхня будова колії в залізничних тунелях [Текст] / А.А. Плугін, А.М. Плугін, Д.А. Плугін, О.С. Борзяк, О.О. Скорик, О.А. Конев та ін. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 122. – С. 187-201.

Особистий вклад: виконання натурних досліджень, обробка та аналіз отриманих даних.

9. Исследования влияния переменного электрического поля в бетоне на его электрокоррозию [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, А.А. Конев и др. // Зб. наук. праць ОДАБА. – Одеса, 2010. – Вип. 38. – С. 517-524.

Особистий вклад: розробка лабораторної установки і методики вимірювань; виконання фізико-механічних вимірювань.

АНОТАЦІЯ

Конев О.А. Вплив надлишкових негативних зарядів від струму витоку на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробництво. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2014.

Дисертація присвячена актуальній темі – розробці уявлень про механізм впливу надлишкових негативних зарядів від струмів витоку, які призводять до утворення внутрішніх напружень і тріщин в обводненому бетоні в залізобетонних конструкціях. Виконано критичний аналіз літературних джерел, на основі якого висловлена наукова гіпотеза про те, що основним фактором тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій у зоні електрифікованих постійним струмом залізничних шляхів є надлишковий негативний заряд від струмів витоку з рейкової колії. Механізм впливу полягає в тому, що надлишковий негативний заряд викликає великий тиск відштовхування між частинками і глобулами гелю, який передається на електрогетерогенні контакти кристалогідратного каркаса, розриваючи його.

Виконані лабораторно-експериментальні дослідження впливу струму витoku на бетонні зразки, а також фізико-хімічні дослідження даних зразків підтвердили розвинені в дисертації теоретичні уявлення.

Результати досліджень впроваджені шляхом дослідного відновлення бетонної опори високої пасажирської платформи із захистом її від проникнення надлишкового заряду, використані у чотирьох галузевих рекомендаційних документах тощо.

Ключові слова: бетонні і залізобетонні конструкції, обводнення, пульсуюча однонаправлена електрична напруга, електрокорозія, струми витoku і блукаючі струми, внутрішні напруження, тріщини, тріщиноутворення, портландит, продукти корозії, захист.

АННОТАЦІЯ

Конев А.А. Влияние избыточных отрицательных зарядов от токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2014.

Диссертация посвящена актуальной теме – разработке представлений о механизме влияния избыточных отрицательных зарядов от токов утечки, которые приводят к образованию внутренних напряжений и трещин в обводненном бетоне в железобетонных конструкциях.

Выполнен аналитический обзор и анализ существующих теоретических и экспериментальных представлений о причинах возникновения и развития трещин в бетоне. Выполненный критический анализ литературных источников показал практически полное отсутствие теоретических представлений о механизме разрушающего влияния токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций.

Развиты теоретические представления о влиянии структуры бетона на возникновение трещин, разработаны соответствующие схемы контактов в бетоне, показано, что с позиции трещинообразования главным фактором является расклинивающий эффект в прослойке между частицами песка и частицами цемента. При их взаимном перемещении между ними возникают микротрещины, они ослабляют раствор в бетоне и цементный камень в растворе, с них начинается развитие трещин в бето-не в целом. Развиты новые теоретические представления о механизме влияния избы-точных электрических зарядов от токов утечки с рельсов на трещинообразование бетона, согласно которым избыточный отрицательный заряд вызывает большое давление отталкивания между частицами и глобулами геля, которое передается на электрогетерогенные контакты кристаллогидратного каркаса, разрывая его. Действие избыточного заряда сочетается с осмотическим и капиллярным прониканием воды в бетон, безнапорной фильтрацией, диффузионным выносом продуктов коррозии и выщелачивания, электроосмотическим переносом.

Выполнены лабораторно-экспериментальные исследования:

- воздействия тока утечки с рельса на бетонный образец-основу под рельсом;

- воздействия избыточного отрицательного заряда, создаваемого пульсирующим однонаправленным электрическим напряжением (ПОЭН), на бетонные образцы различной формы – призматической, кубической, плоской цилиндрической.

Установлено, что максимальное возникновение трещин и разрушения произошли в бетонном образце под рельсом, что обусловлено поляризацией рельса и возникновением дополнительного избыточного отрицательного заряда в бетоне, а также увеличением продолжительности его воздействия на бетон образца. Выполнены лабораторно-экспериментальные исследования с использованием проволочных тензодатчиков из константановой проволоки, подтвердившие возникновение трещин из-за избыточных отрицательных зарядов в бетоне и возникновение за счет этого механических растягивающих напряжений и деформаций. Физико-химические исследования (рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия, световая и сканирующая электронная микроскопия) различных бетонных образцов, после обработки ПОЭН, подтвердили развитые в диссертации теоретические представления.

Доказано, что способы катодной и протекторной защиты стальных и железобетонных конструкций приводят к увеличению избыточного отрицательного заряда в защищаемой стальной конструкции. Единственным эффективным способом может оказаться способ глубинного заземления с диодом, повернутым в сторону конструкции катодом.

Результаты исследований внедрены путем опытного восстановления бетонной опоры высокой пассажирской платформы с защитой ее от проникновения избыточного заряда использованы в четырех отраслевых рекомендательных документах.

Ключевые слова: бетонные и железобетонные конструкции, обводнение, пульсирующее однонаправленное электрическое напряжение, электрокоррозия, токи утечки и блуждающие токи, внутренние напряжения, трещины, трещинообразование, портландит, продукты коррозии, защита.

ANNOTATION

Konev O.A. The effect of excess negative charges of leakage current on cracking of concrete and reinforced concrete structures. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, the specialty 05.23.05 - building materials and products.– Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2014.

The thesis is devoted to the subject – the development of ideas about the mechanism of the effect of excess negative charges of the leakage currents, which leads to the formation of internal stresses and cracks in flooded concrete in reinforced concrete structures. The critical analysis of the literature has completed on which scientific hypothesis suggested that the main factor of cracking of concrete and reinforced concrete structures in the area of direct current electrified railways is excess negative charge of the leakage currents from the rail track. The mechanism of action is that the excess negative charge causes se-

vere pressure repulsion between particles and globules of gel which is transmitted to electro-heterogeneous contacts of kristallari frame, breaking it.

It is completed laboratory experimental research: the influence of the leakage current on a concrete examples and the physical-chemical study of these samples confirmed the advanced theoretical concepts in the thesis.

The research results are introduced through research restoration of concrete support of high passenger platform with protection against the penetration of excess charge, using four sectoral documents etc.

Keywords: concrete and reinforced concrete constructions, irrigation, pulsating unidirectional voltage, electro-corrosion, leakage currents and stray currents, internal stresses, cracks, portlandite, products of corrosion, protection.

Конєв Олександр Анатолійович

**ВПЛИВ НАДЛИШКОВИХ НЕГАТИВНИХ ЗАРЯДІВ ВІД СТРУМУ
ВИТОКУ НА ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск
Партала Н.М.

Підписано до друку 20.11.2014
Формат паперу 60x84 1/16 Папір для розмножувальних апаратів.
Друк офсетний. Умовн.- друк. арк. 0,9.
Замовл. № 363 . Тираж 100 пр. Безкоштовно.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Типографія УкрДАЗТу: 61050, м. Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7