

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

СКОРИК Олексій Олексійович

ПІДВИДЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ
МЕТРОПОЛІТЕНУ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОКОРОЗИЙНИХ ВПЛИВІВ

Спеціальність 05.22.06 Залізнична колія

05.23.05 Будівельні матеріали і вироби

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук


Дніпропетровськ 1996

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківській державній академії залізничного транспорту.

Науковий керівник

доктор технічних наук,
професор

Старосельський О.О.

Науковий консультант

доктор технічних наук,
професор, академік УТА
Венцель Є.С.

Офіційні опоненти

доктор технічних наук,
професор
Бондарь В.О.

кандидат технічних наук,
доцент
Воробейчик Л.Я.

Провідне підприємство

Харківський метрополітен

Захист відбудеться "3" листопада 1996 р. о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 03.04.01 в Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту (ДІІТ) за адресою: 320700 ДСП, м. Дніпропетровськ, 10, вул. Академіка Лазаряна, 2, аудиторія 248

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Залізнична колія електрифікованого транспорту, крім основної функції - забезпечення плавного та безпечного руху поїздів з встановленими швидкостями, виконує роль зворотнього проводу системи тягового електропостачання. Внаслідок цього, як потужне джерело блукаючих струмів, колія та супутні їй споруди можуть зазнавати інтенсивного електрокорозійного руйнування.

Практика експлуатації залізничного транспорту на постійному струмі показує, що елементи верхньої будови колії (ВБК) можуть досягати аварійного стану вже через 0,5+2 роки експлуатації (особливо в тунелях та метрополітенах, в умовах підвищеної вологості, при наявності течій з обкладки). На нараді рейкової комісії Укрзалізниці (Маріуполь, лютий 1996 р.) відзначалось, що на ряді ділянок залізниць капітальний ремонт колії призначається через електрокорозійне руйнування елементів скріплення типу КВ. Довговічність колії, що працює в таких умовах, виявляється недостатньою внаслідок різкого зниження його електроізоляції від землі (обкладки тунелю).

Такий стан, зважаючи на високі вимоги, що ставляться до надійності функціонування залізничної колії (насамперед з умови безпеки руху), викликає необхідність розробки та дослідження ефективних методів підвищення строків служби її елементів. Особливе значення має задача гарантованого забезпечення міцності та довговічності елементів залізничної колії в тунелях метрополітенів внаслідок підвищених вимог до її надійності через специфічні умови експлуатації.

Не менш важливою є проблема забезпечення надійності залізничної колії як елементу пристроїв автоблокування, тому що в залежності від умов експлуатації від 10 до 15% відмов

колії в рейкових колах на мережі залізниць відбувається через зниження електроізоляційних характеристик елементів БЕК.

Мета роботи - підвищення довговічності елементів БЕК шляхом розробки, дослідження та впровадження заходів щодо обмеження електрокорозійного впливу струмів витoku тягового електропостачання.

Методи досліджень. Для досягнення мети досліджень використано методи математичного моделювання, кореляційного аналізу, планування експериментів, морфологічного аналізу технічних систем, а також теорії вимірювань, вірогідностей і математичної статистики.

Наукова новизна:

на підставі досліджень умов роботи, причин і характеру формування параметрів електроізоляції колії науково обґрунтовані практичні методи збільшення строків служби елементів БЕК метрополітену в умовах електрокорозійних впливів;

на підставі теоретичних досліджень вперше розроблено модель структурної неоднорідності колії та обґрунтовано принципи контролю її параметрів на різних структурних рівнях;

на базі положень математичної статистики розроблено методику практичної оцінки обсягів профілактичних робіт на ділянці колії при розрахунковому відбраковочному рівні провідності елементів неоднорідності (вузлів скріплень - ВС);

на підставі теоретичних уявлень про шляхи та характер протікання струму в ланцюзі "рейка - обкладка тунелю" (РО) розроблено структуру схеми заміщення і виконано розрахунок параметрів елементів БЕК з урахуванням зовнішніх впливів та їх ролі в забезпеченні загального рівня електроізоляції колії; - розроблено методики і засоби вимірювань в метрополітені характеристик колії, які визначають довговічність елементів

ВБК в умовах витоку постійного тягового струму;

у результаті численних вимірювань в експлуатаційних умовах встановлено закон, визначені статистичні параметри розподілення провідності ізоляції колії метрополітену.

Практична цінність. В результаті досліджень розроблено ряд варіантів технічних рішень щодо підвищення довговічності елементів ВБК в умовах електрокорозійних впливів. Результати роботи використано для удосконалення системи технічного обслуговування колії і конструктивної доробки ВС для обмеження витоку струму з рейок, що дозволило організувати профілактичне обслуговування колії, збільшити строк служби елементів ВБК на ділянках із зниженим рівнем ізоляції. Основні висновки і рекомендації, які викладено в роботі, можуть бути застосовані на магістральних та промислових залізницях.

Реалізація результатів роботи. Результати роботи впроваджено в Харківському метрополітені, запропоновані методи підвищення надійності електроізоляції колії пройшли попередні випробування і рекомендовані експертною комісією служби колії до впровадження на Південній залізниці.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях ХарДАЗТ (Харків, 1990+1995 р.р.) та С.-Петербурзького інституту інженерів залізничного транспорту (1992 р.), науково-практичних конференціях з питань колійного господарства залізниць України (Київ, 1992, 1993 р.р.). Дисертацію було розглянуто і схвалено на спільному засіданні кафедр "Колія і колійне господарство" та "Будівельні, колійні і вантажно-розвантажувальні машини" за участю спеціалістів кафедри "Автоматика і телемеханіка" ХарДАЗТ (1995 р.), а також на засіданні кафедри "Колія і колійне господарство" ДІІТ (1995 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 робіт, в т.ч. заявка на винахід №4913289/11(015987), МКІ 5Е01В 9/44, позитивне рішення від 31.01.1992 р. (в співавторстві), матеріали дисертації увійшли у склад чотирьох звітів з НДР.

Особистий внесок автора у розробку наукових результатів дисертації складається з проведення теоретичних та експериментальних досліджень; узагальнення та аналізу їх результатів, розробки та впровадження практичних методів контролю стану і підвищення довговічності елементів ББК.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, семи розділів, загальних висновків (112 сторінок машинописного тексту, 44 рисунка, 21 таблиця), списку використаної літератури (114 наймен.), 9 додатків - загальний обсяг 192 стор..

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета, показується практична цінність роботи.

У першому розділі на підставі відомостей із літературних джерел і даних служб колії і тунельних споруд метрополітенів України виконано аналітичний огляд сучасних методів контролю стану та забезпечення довговічності елементів ББК метрополітену в умовах електрокорозійних впливів, визначено задачі дослідження та основні шляхи їх вирішення.

Важлива народногосподарська задача захисту конструкцій та споруд від корозійного руйнування постійно вимагає пильної уваги вчених. Вирішенню різних її аспектів присвячено роботи В.С.Артамонова, В.І.Бабушкіна, Ю.М.Баженова, В.О.Бондаря, В.І.Іванової, О.В.Котельнікова, О.П.Мчедлова-Петросяна, О.О.Старосельського, І.В.Стрижевського, їх чисельних співробітників і колег. Одним з найнебезпечніших видів корозії є електрокорозія струмами витоку з рейок електрифікова-

ного залізничного транспорту. Для метрополітенів електрокорозія особливо небезпечна, тому що на відміну від умов роботи наземних залізниць контроль стану колії метрополітену практично неможливий впродовж приблизно 20 годин у добу.

Зусиллями вчених ВНДІЗТ, МІІТ, ЛІІЗТ, ДІІТ, ХІІТ і т.д. (І.М.Єршова, Б.І.Косарева, О.В.Котельнікова, М.Ф.Котляренко, В.П.Жоха, М.Г.Сергеева, В.І.Бушуєва та інших), а також працівників метрополітенів та залізниць виконано теоретичні і прикладні дослідження, результати яких дають можливість вирішення багатьох вузлових моментів забезпечення надійної роботи залізничної колії в рейкових мережах електропостачання та колах автоблокування. Визначено критерії електрокорозійної небезпечності і розроблено нормативи з обмеження витоку тягового струму, запропоновано ряд схем заміщення для розрахунку струмів витоку, методів підвищення рівня захищеності транспортних споруд від електрокорозії та контролю електроізоляції колії і т.і.. Встановлено, що одним з основних первинних параметрів, що впливають на величину струмів витоку та, внаслідок цього, довговічність рейок і скріплень, є перехідний опір від рейок до землі, який, в свою чергу, визначається конструкцією скріплень і властивостями баласту.

Проте, сучасні вимоги до залізничної колії щодо електроізоляції, що походять з допущення про її однорідність, не виключають можливість електрокорозії рейок і скріплень. Досвід експлуатації свідчить, що локальне погіршення електрофізичних параметрів колії внаслідок впливу численних випадкових факторів різної природи призводить до концентрації струмів витоку на ділянках невеликої довжини, що багаторазово прискорює в цих місцях процес руйнування елементів ББК. Крім того, неоднорідність та випадковий характер формування

параметрів колії викликають труднощі під час їх контролю і суттєво знижують ефективність профілактичних заходів. Вага-лі, питанням дослідження та реалізації методів технічного обслуговування колії метрополітену з урахуванням його неоднорідності приділялось мало уваги (за виключенням робіт О.В.Котельнікова) і в теоретичному, і в практичному аспектах. У цьому напрямі відомі дослідження В.І.Бушуєва, В.П.Жоха, М.О.Мороко та ін., але вони спрямовані на вирішення цих задач на магістральних залізницях.

У зв'язку з цим, для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі задачі:

вивчення процесів та встановлення закономірностей формування параметрів колії в умовах електрокорозійних впливів;

аналіз стану, дослідження характеру та ступеня неоднорідності і статистичних параметрів розподілення електроізоляції залізничної колії в експлуатаційних умовах метрополітену;

розробка теоретичних положень, методик і рекомендацій щодо удосконалення системи контролю стану і, на цій підставі, профілактики електрокорозії елементів ВБК;

дослідження шляхів розтікання струму з рейок в "землю" та оцінка значення окремих елементів ВБК у формуванні параметрів, що впливають на довговічність рейок і деталей скріплень під час витоку постійного тягового струму;

розробка технічних рішень (ТР) щодо підвищення довговічності елементів ВБК під час електрокорозійних впливів та надійності колії в рейкових колах автоблокування.

Другий розділ присвячено теоретичним питанням закономірностей розподілення параметрів залізничної колії, які визначають її довговічність під час електрокорозійних впливів.

Показником захищеності колії від електрокорозії є ве-

личина струмів витоку з ходових рейок. Отже, внаслідок того, що виток струму здійснюється дискретно у зв'язку з можливістю електричного контакту рейок з обкладкою тільки крізь шпали, збільшення строків служби елементів ВБК під час впливу струмів витоку можна досягти за рахунок підвищення рівня і однорідності електроізоляції колії від обкладки.

Незважаючи на досить велику кількість робіт, присвячених теоретичним і практичним питанням неоднорідності електроізоляції залізничної колії, окремі положення цієї проблеми розрізані і не мають спільної бази.

Визначаючи об'єкт однорідним в тому випадку, коли середнє значення його параметрів на довільній елементарній ділянці не залежить від координат цієї ділянки у просторі, можна помітити, що кваліфікація об'єкта як однорідного чи неоднорідного залежить від співвідношення розмірів елемента неоднорідності, що розглядається, та визначальної області. Виходячи з цього та припускаючи, що визначальна (та, що вимірюється) область досить велика (стосовно метрополітену - блок-ділянка), в колії можна виділити певні рівні неоднорідності.

У відповідності з цими уявленнями і з урахуванням висновків І.Я.Фрідмана щодо відносності неоднорідності, побудовано діаграму неоднорідності залізничної колії (рис. 1).

По осі абсцис діаграми відкладається лінійний розмір елементів неоднорідності (u), по осі ординат - лінійний розмір області, що вимірюється (v).

З діаграми видно, що при $v \gg u$ неоднорідність статистично усереднюється, а при $v \ll u$ рівень ізоляції буде змінюватись з переходом від одного елемента неоднорідності до другого, отже об'єкти є неоднорідними. Заштрихована область відповідає відношенню $v/u \approx 10$ ($v > u$). Для неї характерна невелика кіль-

кість елементів неоднорідності в області, що вимірюється (наприклад, ВС на ділянці колії), їх параметри у достатньому ступені не усереднюються, внаслідок чого має місце сильний розбіг значень перехідних опорів цих елементів.

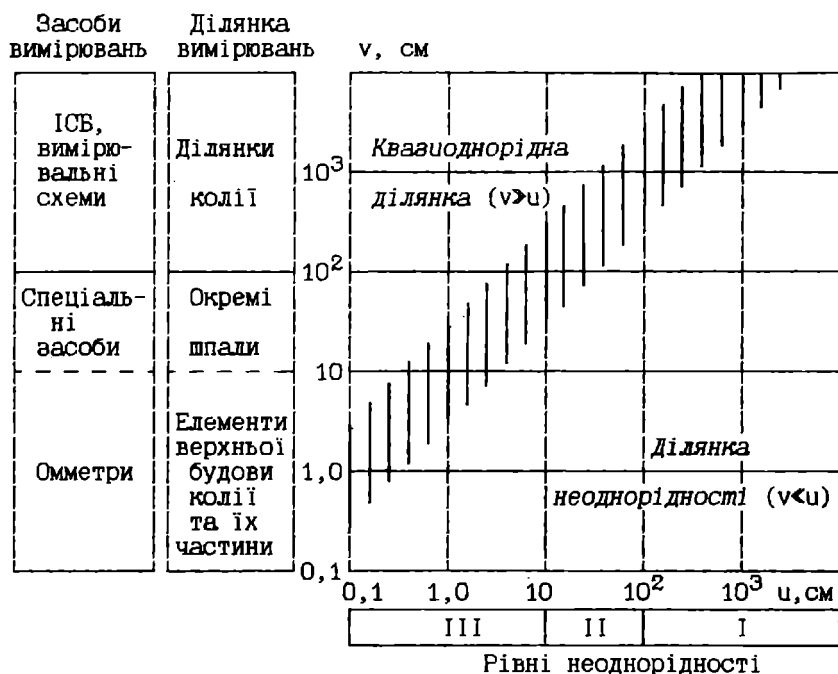


Рис. 1 Діаграма структурної неоднорідності первинних параметрів залізничної колії

Наведена схема охоплює діапазон лінійних розмірів елементів неоднорідності від 10^{-1} до 10^4 см, отже, практично весь діапазон, що ставить інтерес для аналізу технічної системи - залізничної колії, кола РО і т.і..

Аналіз діаграми дозволив сформулювати висновки, що визначають напрями досліджень і практичної реалізації методів підвищення довговічності елементів ББК:

1) оцінка показника захищеності колії від електрокорозії - рівня ізоляції, повинна здійснюватись з урахуванням масштабного фактору та однорідності ділянки вимірювань, тому що властивості елементів колії, які відповідають за виток

струму, усереднюються із збільшенням області вимірювань;

2) чисельні характеристики однорідності колії (коефіцієнт однорідності, коефіцієнт варіації і т.д.) не залежать від рівня електроізоляції колії: для одних і тих же значень коефіцієнту однорідності будуть змінюватись лише абсолютні значення мінімуму і максимуму перехідних опорів ВС;

3) велика кількість слабозалежних "каналів витоку" крізь ВС і незалежність ВС між собою дозволяють, на підставі граничних теорем теорії вірогідностей, припустити можливість наближеного опису їх розподілення нормальним законом.

На підставі цих висновків реалізовано метод розрахунку фактичного і обсягів робіт по відновленню потрібного рівня ізоляції колії вибіркоким ремонтом (заміною) елементів ВБК по такому алгоритму:

а) з перехідного опору ділянки колії r_{p-o} , що отримується нескладними вимірюваннями, визначається середня провідність ВС на ділянці вимірювань:

$$g_c = 1/(2 \cdot N \cdot r_{p-o}), \quad (1)$$

де N - ешора шпал на ділянці вимірювань;

б) використання "правила 36", у відповідності з яким $g_{max} = g_c + 36g$, та коефіцієнта однорідності $k_o = g_c/g_{max}$ дає можливість визначити емпіричний стандарт:

$$6_g = g_c \cdot (1 - k_o)/(3 \cdot k_o); \quad (2)$$

в) кількість ВС з провідністю, яка знаходиться в інтервалі $(g_i \pm g_{i+1})$, визначається з вираження:

$$N(g_i, g_{i+1}) = 2N \cdot \left\{ \Phi/2 \left[\frac{g_{i+1} - g_c}{6_g} \right] - \Phi/2 \left[\frac{g_i - g_c}{6_g} \right] \right\}, \quad (3)$$

де $\Phi(g)$ функція Лапласа.

г) утрата маси металу з елементів ВБК за строк служби τ для кожної групи ВС визначається відповідно до закону Фарадея із введенням коефіцієнту гальмування процесів корозії:

$$\Delta M = q \cdot U_{p-o} \cdot g_{i+1} \cdot \tau \cdot k_t, \quad (4)$$

де q електрохімічний еквівалент, $кг/(А \cdot рік)$;

U_{p-o} - потенціал рейок відносно обкладки тунелю, В;

k_t коефіцієнт гальмування процесів корозії, отриманий розрахунковим шляхом (для метрополитену $k_t=0,69$).

д) кількість ВС, що потребують ремонтних (профілактичних) заходів, визначається з вираження:

$$N_p = (1 - F(g_o)) \cdot 2N \cdot l_{уч}, \quad (5)$$

де $l_{уч}$ довжина ділянки вимірювань;

$F(g_o)$ - значення функції розподілення ВС по провідності, що дорівнює відбраковочному рівню.

За розрахунковими даними, які перевірені натурними спостереженнями, при $U_{max} = 12$ В для забезпечення нормативного строку служби елементів ВБК необхідне $g_o < 2,32 \cdot 10^{-4}$ Сим.

У третьому розділі досліджено модель технічної системи РО для оцінки рангу окремих елементів ВБК у забезпеченні довговічності рейок і скріплень, вибору та оцінки ефективності технічних рішень з обмеження електрокорозійних впливів. За основу моделі прийнято схему заміщення кода РО (рис. 2).

На схемі прийняті такі позначення: R_b , R_{bp} , R_{np} , R_{np} , $R_{ш}$, $R_{пш}$, R_g - об'ємні та поверхневі опори елементів ВБК на шляху витoku; Z , $Z_{пш}$ - перехідні опори між елементами з різним характером провідності (іонним та електронним).

Розрахунки на ПЕОМ показали, що за умови збереження існуючої конструкції ВБК метрополитену найбільш ефективним способом підвищення захищеності рейок і деталей скріплень є збільшення довжини шляху витoku струму в їх поверхні за рахунок введення в ВС ізолюючих елементів (R_b і R_{np}). При цьому повинні бути виключені безпосередні контакти металевих елементів ВС з електролітичним середовищем. Відповідно до розрахункових даних в перспективі перевага повинна віддаватися застосуванню негігроскопічних матеріалів для підрейкових підвалин та колійного бетону підвищеної щільності.

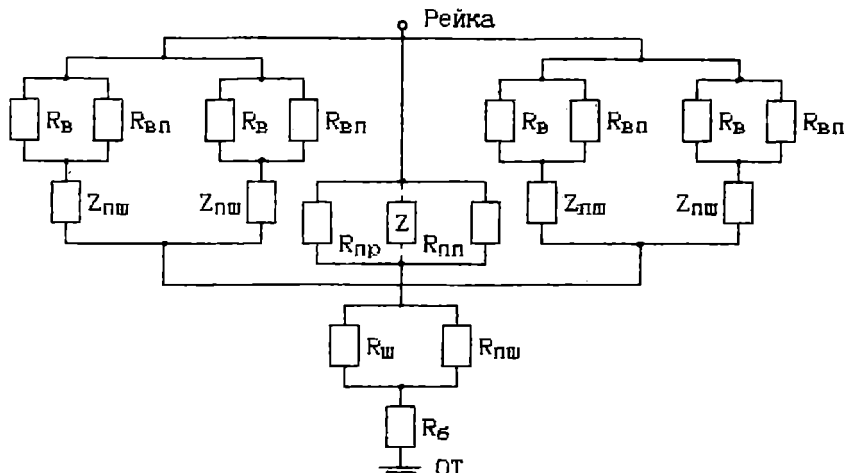


Рис. 2 Еквівалентна схема заміщення "рейка - обкладка тунелю"

В четвертому розділі викладено методики і результати експериментальних досліджень в метрополітені.

Вибір методик досліджень зумовлений специфікою виконання робіт і вимогами, що впливають із мети роботи: достовірність, висока продуктивність і простота методів вимірювань та обслуговування вимірювальних засобів, можливість їх використання в практиці поточного утримання колії, необхідність проведення вимірювань без порушення цілісності колійної конструкції та її елементів.

Досліджено такі параметри залізничної колії, як провідність ізоляції ВС, опір колійного бетону і шпал.

Провідність ізоляції ВС вимірювалась спеціально виготовленим автоматизованим пристроєм (метод вимірювань каф. "Автоматика і телемеханіка" ХарДАЗТ, реалізований за участю автора). В результаті статистичної обробки даних вимірювань встановлено: а) розподілення ВС можна наближено описати нормальною моделлю (перевірка за критерієм Пірсона дала значення вірогідності $0,1 \pm 0,45$, що свідчить про задовільну узгодженість емпіричного розподілення з теоретичним законом)

(рис. 3); 6) коефіцієнт однорідності k_0 не залежить від рівня електроізоляції ділянки і його середнє значення дорівнює 0,448 при середньоквадратичному відхиленні $\sigma=0,062$ (рис. 4).

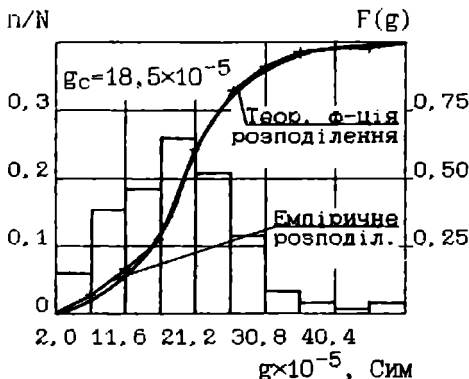


Рис. 3 Гістограма та функція розподілення провідностей ВС на ділянці колії

(N - кількість вимірювань на ділянці, n - кількість попадань значень провідностей ВС в інтервал $(g_i; g_{i+1})$).

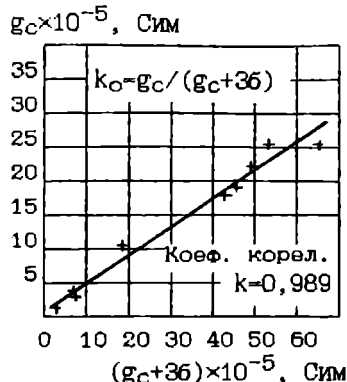


Рис. 4 Зв'язок між середніми і максимальними значеннями провідностей ВС

Підтверджено також отримані в роботі теоретичні висновки, які дають можливість практично організувати статистичний метод контролю та, на його підставі, профілактику електрокорозії елементів залізничної колії.

Опір колійного бетону вимірювався приладом змінного струму М416 за 4-електродною схемою за допомогою таких, що не поляризуються, електродів порівняння. Встановлено, що цей елемент є найслабкішою ланкою технічної системи, що досліджувалась, який практично втрачає ізоляційні властивості під час зволоження. Незалежно від характеру зволоження його питомий опір аменшується з глибиною (до 50 Ом·м), що сприяє витоку струму з рейок на обкладку тунелю найкоротшим шляхом і зниженню до мінімального загального рівня ізоляції колії.

Опір шпал, які лежать в колії, вимірювався за допомогою стержневих датчиків омметром змінного струму високої частоти з селективним захистом для виключення впливу сигнального

струму на результати вимірювань. Встановлено, що зонами переважного витоку струму в шпалі є підрейкові перерізи. Це пов'язане з динамічними навантаженнями, максимальними в цих зонах, і з трудностю вологообміну з навколишнім середовищем. Питомий опір шпали в зоні підкладки знижується до $150+200$ Ом·м практично наближується до опору колійного бетону, що пояснює причини інтенсивної електрокорозії шурпів.

Отримані результати підтверджують теоретичні висновки, що ґрунтуються на розрахунках і аналізі запропонованих моделей, та дозволяють здійснити цілеспрямований пошук технічних рішень щодо підвищення довговічності елементів залізничної колії в умовах впливу електрокорозійних факторів.

П'ятий розділ присвячено розробці способів обмеження витоку тягового та сигнального струмів з рейок залізничної колії на підставі побудови та дослідження конструктивних функціональних схем ВС.

Аналіз проблемної ситуації, результатів досліджень та прототипів дозволив виділити основні недоліки і сформулювати вимоги до технічної системи, що розглядається, які забезпечують досягнення мети роботи.

Показниками якості, за значеннями яких провадився вибір найкращих з альтернативних варіантів, прийнято: а) коефіцієнт стабільності $k = \gamma_{вЛ}/\gamma_{н} \geq 1$ ($\gamma_{вЛ}$ - перехідний опір в колі РО під час зволоження елементів ВЕК, $\gamma_{н}$ - значення перехідного опору, яке нормується); б) показник відсутності контактів вигляду "метал електродит" у ВС: $N_{м-э} = 0$.

Особливості технічної системи, що розглядається, накладають ряд обмежень на варіанти її поліпшення. У зв'язку з тим, що вимоги до елементів ВЕК, які виконують функції сприйняття та перетворення навантаження від рухомого складу,

прийнятті детермінованими, для пошуку нових технічних рішень залишаються такі шляхи: А) включення у ВС нових елементів з необхідними характеристиками і прийняття заходів щодо забезпечення їх стабільності; Б) надання елементам ВБК електрофізичних властивостей нового рівня. Можливе також сполучення напрямів А і Б.

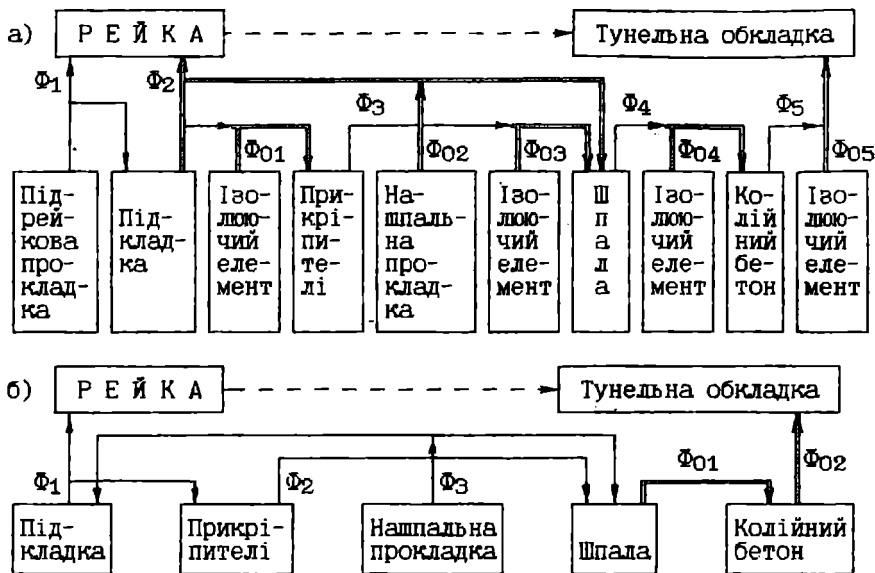


Рис. 5 Покращені конструктивні функціональні схеми технічної системи РО: а - шлях А; б - шлях В (Φ_i - традиційні функції елементів ВБК, Φ_{0i} - додаткові (захисні) функції елементів ВБК)

Побудова і аналіз поліпшених конструктивних функціональних схем (рис. 5), які дають цілне уявлення про улаштування об'єкта з функціональної та фізичної точок зору, дозволили здійснити системний пошук нових ТР та вибрати з них найліпші за допомогою методу морфологічного аналізу технічних систем (табл. 1 і 2). При цьому враховані практично всі можливі варіанти ТР (як відомі, в різній мірі апробовані, так і нові) крім тих, що неможливо реалізувати, що не відповідають критерію якості або по якимось причинам недоцільних.

Таблиця 1

Варіанти підвищення захищеності елементів залізничної колії
від електрокорозії (шлях А)

Ф01 ізоляція підкладки від прикріпителів (шурупів)	Ф02-ізоляція підкладки від шпали	Ф03-ізоляція прикріпителів (шурупів) від шпали	Ф04 - ізоляція шпали від колійного бетону	Ф05 ізоляція колійного бетону від обкладки
1	2	3	4	5
A^1_1 ізолююча втулка; A^{2*}_1 - ізолююча втулка з циліндричною відбортовкою; A^{3**}_1 - ізолююча втулка з циліндричною відбортовкою, яка заповнюється гідрофобною речовиною; A^4_1 - ізоляція поверхні шурупу, яка контактує з підкладкою; A^{5*}_1 - гідрофобізація поверхні шурупів та підкладки; A^{6*}_1 - шурупи з діелектричного матеріалу;	A^{12} - резинова прокладка; A^{2*}_2 - резинова прокладка з антисептиком; A^{32} - ізоляція поверхні шпали в зоні контакту з підкладкою	A^{13} заповнення отвору для шурупа ізолюючим складом A^{23} - установлення в шпалу електроізолюючої укладки (дубеля); A^{33} - ізоляція поверхні шурупів в зоні контакту із шпалюю;	A^{14} антисептування деревини шпали масляними антисептиками; A^{24} глибоке просочення шпали антисептиком; A^{34*} - просочення підрейкового перерізу шпали полімером; A^{44*} - поверхнева ізоляція шпали;	A^{15*} бетон з поліпшеними електроізоляційними властивостями; A^{25*} - бетон з поверхневою ізоляцією; A^{35*} - ізоляція бетону від тунельної обкладки
		Комбінації: $A^1_1 + A^4_1$; $A^{2*}_1 + A^{5*}_1$.		

Примітки. $A^n_k(B^n_k)$ шифр ТР; * неапробовані ТР; ** впроваджені в метрополітені нові ТР

Таблиця 2

Варіанти підвищення захищеності елементів залізничної колії від електрокорозії (шлях Б)

Ф01	ізоляція підкладки і шурупів від колійного бетону	Ф02	ізоляція шпали від тунельної обкладки
Б ¹ ₁	звичайне просочення дерев'яної шпали;	Б ¹ ₂	цементний бетон звичайної структури;
Б ² ₁	глибоке просочення дерев'яної шпали;	Б ² ₂ *	цементний бетон звичайної структури з поверхневою ізоляцією;
Б ³ ₁ *	просочення підрейкового перерізу шпали полімерами;	Б ³ ₂ *	цементний бетон з поліпшеними електроізоляційними властивостями;
Б ⁴ ₁ *	поверхнева ізоляція шпали синтетичними матеріалами;	Б ⁴ ₂ *	цементний бетон із змінним (під шпалю) опором;
Б ⁵ ₁ *	шпали з полімерних матеріалів.	Б ⁵ ₂ *	бетонополімер;
		Б ⁶ ₂ *	полімербетон.

Практична реалізація більшості з цих ТР можлива і в метрополітені, і на інших видах залізничного транспорту з урахуванням конкретних умов, можливостей, обсягів впровадження, що передбачаються, технічної та економічної доцільності.

В шостому розділі викладено результати впровадження запропонованих в роботі заходів щодо підвищення довговічності залізничної колії на електрокорозійнонебезпечних ділянках Харківського метрополітену.

Реалізовано систему контролю електроізоляції і профілактики електрокорозії елементів ВБК. На цей час, зважаючи на економічні та технічні можливості метрополітену, організовано вибірковий профілактичний контроль електрокорозійного стану колії з використанням дослідного зразку запропонованого пристрою для виявлення місць концентрованого витoku струму на базі викладеної в розділі 2 методики. За узгодженням із службою колії і тунельних споруд на цей час впроваджено

варіант ТР, що завбачає для ізоляції шурупів від підкладки застосування нової конструкції втулки з циліндричною відбортовкою, яка заповнюється гідрофобною речовиною, та резинової нащпальної прокладки для виключення витoku струму з підкладки в шпалу. В місцях зниженого рівня електроізоляції колії, виявлених вимірюваннями за запропонованою системою, встановлено 1500 таких втулок, виготовлених в майстернях метрополітену. Виходу елементів ВБК внаслідок електрокорозійних дефектів в цих місцях після установа втулок (в 1994 р.) не зафіксовано. В результаті проведення цих заходів обсяг заміни елементів ВБК через електрокорозійні пошкодження в 1995 році зменшився приблизно на 80% (за даними дистанції колії).

Сьомий розділ присвячено питанням техніко-економічної ефективності запропонованих в дисертації заходів.

Техніко-економічний і соціальний ефекти від впровадження досягається за рахунок: 1) суттєвого підвищення безпеки руху пасажирських поїздів завдяки зменшенню вірогідності раптових відмов елементів колії (аломи рейок через дефекти за рис. 69, утрата стабільності ширини колії через електрокорозію прикріпителів і підкладок); 2) підвищення продуктивності праці і достовірності результатів контролю стану колії; 3) виключення передчасного виходу елементів ВБК через електрокорозійні дефекти, зниження затрат праці і матеріалів на технічне обслуговування колії завдяки можливості проведення планованих вибірових (за результатами контролю) профілактичних заходів. Економічний ефект по п.п. 2 і 3 в цінах грудня 1995 р. складає близько 39,7 млн. крб. на 1 км колії за рік. Додатковий економічний ефект складається із зниження небезпечності електрокорозійних пошкоджень тунельної обкладки та супутніх підземних споруд.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

1. Досліджено процеси та закономірності змінення параметрів залізничної колії метрополітену в умовах електрокорозійних впливів. Встановлено, що під час оцінки показника захищеності від електрокорозії величини перехідного опору "рейка - обкладка тунелю" повинні враховуватись масштабний фактор та однорідність ділянки колії. Визначальним елементом неоднорідності, що відповідає за загальний рівень електроізоляції колії, є вузол рейкового скріплення.

2. Виконано дослідження параметрів неоднорідності колії метрополітену. Показано, що під час дослідження залізничної колії, як об'єкта із параметрами, які розподілені випадково, доцільно використовувати теоретико-вірогіднісні і статистичні методи. Теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що розподілення провідностей ВС метрополітену не суперечить нормальному закону.

3. У результаті експериментальних досліджень встановлені статистичні характеристики, які враховують неоднорідність колії за ступенем захищеності від електрокорозії. Показано, що середнє значення коефіцієнту однорідності ВС із провідності ізоляції не залежить від загального рівня електроізоляції ділянки і приблизно дорівнює в метрополітені 0,45.

4. З урахуванням коефіцієнту однорідності та зважаючи на нормативні вимоги щодо забезпечення строків служби елементів ЕБК метрополітену встановлено, що провідність ізоляції окремого вузла скріплення не повинна перевищувати $2,32 \times 10^{-4}$ Сим, а перехідний опір ділянки колії повинен бути не менш, як 2,6 Ом·км (замість існуючої норми 1,5 Ом·км).

5. Показано, що одним із способів підвищення довговічності залізничної колії метрополітену є регулярний контроль

параметрів електроізоляції на базі використання в процесі технічного обслуговування прямих методів контролю провідності окремих ВС за допомогою автоматизованих пристроїв, що дозволяє організувати вибірковий ремонт (заміну) елементів ізоляції і запобігти розвитку електрокорозії рейок та деталей скріплень за рахунок профілактичних заходів.

6. У результаті моделювання процесу витoku струму в зоні ВС встановлено і експериментально підтверджено, що за умови збереження в тунелях метрополітену конструкції колії, що існує, одним з ефективних способів підвищення захищеності елементів колії від електрокорозії є застосування у ВС елементів бар'єрної ізоляції.

7. На основі аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень за допомогою методу морфологічного аналізу технічних систем розроблено ряд ефективних технічних рішень із запобігання електрокорозії елементів ВБК і підвищення їх надійності в рейкових колах автоблокування.

8. Запропоновано і впроваджено в метрополітені конструкцію ізолюючої втулки для проміжного скріплення, яка обмежує виток струму з його елементів. В місцях, де встановлено в 1994+1995 р.р. такі втулки, виходу рейок та деталей скріплень через електрокорозійні дефекти не зафіксовано.

9. У результаті впровадження запропонованих методів контролю стану, профілактики і захисту від електрокорозії колії в Харківському метрополітені отриманий реальний соціальний та техніко-економічний ефект. За підсумками 1995 р. економічний ефект в Харківському метрополітені, віднесений до 1 км колії, склав понад 39 млн. крб..

Основні положення дисертації викладено в роботах:

1. Скорик А.А., Дадыко Л.Т., Бучко В.М., Старосель-

ский А.А. Дефекты изоляции скрепления КВ//Путь и путевое хозяйство.- 1991.- №4. с.9.

2. Скорик А.А., Мороко Н.А., Старосельский А.А., Бортовик Л.В., Гончарук Н.К. Повышение надежности электроизоляции пути метрополитена// Путь и путевое хозяйство.- 1993.- №8.- с. 10.

3. Заявка №4913289/11(015987), МКИ ⁵Е01В 9/44 от 20.02.1991, полож. реш. от 31.01.1992//Изолированное рельсовое скрепление/ А.А.Старосельский, А.А.Скорик, Л.В.Бортовик.

4. Старосельский А.А., Скорик А.А., Бортовик Л.В. Неоднородность параметров электроизоляции пути метрополитена// Межвуз. сб. науч. тр./ ХИИТ.- Харьков, 1992: Вопросы надежности и долговечности железнодорожного пути.- Вып.19. - с. 30.

5. Скорик А.А., Сивцов В.П. Эксплуатационная устойчивость резиновых напильных прокладок//Межвуз. сб. науч. тр./ ХИИТ.- Харьков, 1992: Вопросы надежности и долговечности железнодорожного пути.- Вып. 19.- с. 69.

6. Старосельский А.А., Скорик А.А., Капустин Р.В. Условия возникновения и развития коррозии подошвы рельсов/ ХИИТ.-Х.-1991.- 9 с.- Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 21.03.1991, №5473.

7. Скорик А.А. Моделирование работы элементов электрической изоляции рельсовых цепей. Тез. докл. 53-й научно-техн. конф.- ХИИТ.- Харьков, 1991.- с. 38.

8. Старосельский А.А., Скорик А.А. Морфологический анализ электрической цепи "рельс-обделка тоннеля" и синтеза технических решений. Тез. докл. 53-й научно-техн. конф.- ХИИТ.- Харьков, 1991.- с. 38.

9. Скорик О.О. Залізнична колія в умовах метрополітену: проблема довговічності та напрями її вирішення. Тез. доповідей 57 науково-техн. конф.- ХарДАЗТ. Харків, 1995.- с. 42.

Скорик А.А. Повышение долговечности железнодорожного пути метрополитена в условиях электрокоррозионных воздействий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 железнодорожный путь, 05.23.05 - строительные материалы и изделия. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1996.

Диссертацией является рукопись, которая содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований по проблеме защиты железнодорожного пути от коррозии при утечке обратного тягового постоянного тока. Установлены закономерности и статистические параметры распределения подрельсовых опор по проводимости изоляции, разработаны практические методы, повышающие долговечность элементов железнодорожного пути. Осуществлено внедрение разработок, приводятся данные об их эффективности.

Skorik A.A. Rise of longevity of underground railway track under elektrocorroding actions conditions. The thesis is intended for earning the degree of candidate of technical sciences on speciality 05.22.06 - railway track, 05.23.05 - constructional materials and products. Dnepropetrovsk state technical university railway transport, Dnepropetrovsk, 1996. The thesis is a type-scribe, which contains results of theoretical and experimental research on problem noncorrosive protection of railway track under back traction direct current leakage. There are established regularities and statistical parameters of distribution outrail piers on conductivity of insulation, developed practical methods, that rise of longterm of railway track elements. Promotion of the developments is carried out, there are presented data about there efficiency.

Ключові слова:

залізнична колія, електрокорозія, довговічність.

Сканувала Семенова Т.Л.

