

Ресурсозберігаючі технології експлуатації контактної мережі за станом для міського електротранспорту

М.В. Хворост

Харківський національний
університет міського господарства
імені О.М. Бекетова
Україна
E-mail: zn@kname.edu.ua

І.В. Доманський

Харківський національний
університет міського господарства
імені О.М. Бекетова
Україна
E-mail: dvt.nord@gmail.com

В.О. Васенко

Комунальне підприємство
«Міське електротранссервіс»
Україна
E-mail: dvt.nord@gmail.com

Анотація – Робота присвячена вирішенню актуальної задачі – розроблення комплексу науково-обґрунтованих пропозицій умов і заходів, що забезпечують технології експлуатації електропротягових мереж на базі енерго- та ресурсозбереження. У роботі розглянуті теоретичні і практичні питання розвитку технологій і ремонту контактної мережі (КМ) за станом для забезпечення процесу перевезень пасажирів. Визначені технічні критерії стану КМ і запропоновані технології обслуговування за станом з контролем параметру, що монотонно змінюється. Запропоновано сукупність діагностичних і надійнісних показників. Узагальнені структурні схеми системи оцінки стану КМ і ранжування ремонтних робіт з урахуванням можливого впливу дефектів. Запропоновано ранжувати їх за трьома характерними ознаками: відмови 1-го роду, при яких КМ як система повністю втрачає свою дієздатність; відмови 2-го роду (часткові), при яких ефективність функціонування КМ зменшується; відмови 3-го роду – відзначаються в елементах КМ за час виконання робіт за поточним складом і ремонту. Показано, що застосування системи технічного обслуговування за станом з контролем параметрів можливо, якщо: умови експлуатації умов КМ не допускають роботу до відмови; за економічними міркуваннями необхідна експлуатація КМ до вироблення ресурсу; пристрої КМ мають високе функціональне значення при недостатньому ступеню резерву; існує високий рівень експлуатаційної технологічності і ремонтно-придатності. Узагальнено основоположні критерії стану КМ і якості струмозняття. Запропоновано технології, які базуються на синтезі імовірнісних методів оцінки параметрів, реальній діагностиці та імітаційному моделюванні стану КМ. Визначені основні критерії стану КМ, які дозволяють оцінити ресурсозбереження при технічному обслуговуванні і ремонті.

Ключові слова – експлуатація і діагностика, контактна мережа електротранспорту, взаємодія з струмоприймачами, ресурсозберігаючі технології.

I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Складне завдання, забезпечення працездатності пристроїв контактної мережі (КМ) в процесі експлуатації і всебічного ресурсозбереження, може бути вирішено тільки з використанням теорії надійності і її складової частини – теорії технічного обслуговування. Значний ефект може дати перехід від обслуговування за нормами до технічного

обслуговування за станом, що можливо при використанні теорії технічної діагностики і широкому впровадженні засобів діагностування. Для планування керуючих дій (КД) необхідна розробка моделей відмов технічних пристроїв КМ, що зв'язують їх технічний стан з напрацюванням і імовірністю відмови.

II. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є вдосконалення технологій обслуговування контактної мережі міського електротранспорту за станом для забезпечення надійного і економічного струмозняття. Для досягнення мети необхідно узагальнити і вибрати основні критерії стану контактної мережі, які дозволяють оцінити ресурсозбереження при технічному обслуговуванні і ремонті.

III. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Одним з найбільш перспективних методів зниження експлуатаційних витрат є перехід до призначення науково обґрунтованих строків ремонту і планування робіт на основі фактичного стану КМ. Це можливо лише при наявності комплексної системи моніторингу і діагностування із визначенням параметрів і критеріїв їх оцінки [1–7]. Такий підхід до вирішення проблеми потребує створення інформаційної системи яка дозволить об'єднати різномірні потоки даних про пристрої КМ і дати оцінку відповідності їх стану нормативам, спрогнозувати можливі порушення параметрів і спланувати раціональний комплекс ремонтно-відновлювальних робіт [8–13].

Технічним засобом моніторингу є система комплексного аналізу вимірюваних параметрів КМ і струмоприймачів з ціллю вияву технічних відхилень від нормативних даних, а також причин їх появи і визначення економічно обґрунтованих способів усунення [10–13]. Стан струмоприймачів можна контролювати як в локомотивних депо, так і з використанням автоматизованих систем.

Комплекс діагностуючих пристроїв, способів обробки і передачі інформації на базі вагон-лабораторій випробувань контактної мережі трамваїв (ВВКМ-Т) дозволяє здійснювати контроль вертикального і горизонтального регулювання контактної мережі (КМ), регулювання повітряних стрілок, сполучень і фіксаторів, якості взаємодії

струмоприймачів з контактними підвісками з виявленням дефектних місць (жорстких точок), зносу КП, стану ізоляції і струмоведучих елементів, габаритів опор, відмітки опор. Основними елементами, що входять в систему діагностування пристроїв КМ, є датчики ознак (параметрів), які забезпечують перетворення діагностуємої ознаки (параметру) в сигнал, що зручний для вимірів, передачі, обробки і реєстрації [8, 10, 11].

IV. Викладення основного матеріалу

Технічні критерії стану контактної мережі

Сукупність діагностичних і надійнісних показників дозволяє визначити фактичний стан КМ і на основі цієї оцінки планувати проведення тих чи інших робіт. Можливі варіанти стану системи можна подати у вигляді графу, на якому зображено напрями потоків відмов λ_k , тобто переходи системи в сусідній стан при відмові одного з пристроїв КМ, а також переходи системи у новий стан після закінчення ремонту або заміни одного з цих пристроїв, тобто потоки відновлень μ_k , що мають зворотні напрямки (реакції).

Узагальнені структурні схеми системи оцінки стану КМ і ранжування ремонтних робіт з урахуванням можливого впливу дефектів представлені на fig.1 і 2.

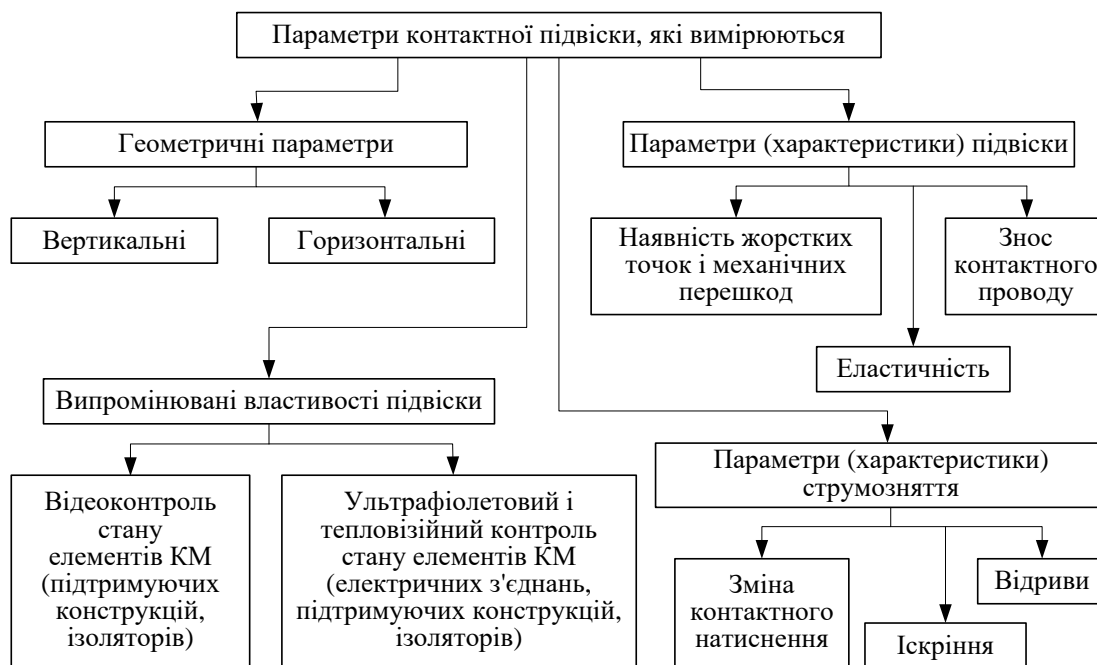


Fig. 1. Система оцінювання стану КМ на основі параметрів, виміряних ВВКМ-Т нового покоління

В залежності від впливу відмов КМ на графік руху трамваїв їх можна ранжувати за трьома характерними ознаками:

відмови 1-го роду, при яких КМ як система повністю втрачає свою дієздатність, в результаті руху по ділянці припиняється повністю на час, необхідний для відновлення системи;

відмови 2-го роду (часткові), при яких ефективність функціонування КМ або окремого її елемента

Відмова у КМ – це порушення її нормальної роботи, при якому вона повністю чи частково втрачає здатність виконувати свої функції через вихід за межі встановлених допусків або норм одного або декілька її параметрів. До відмов відносяться:

пошкодження, що викликають зняття напруги на КМ, порушення струмозняття, зменшення швидкості руху або обмеження кількості трамваїв, їх зупинка на час проведення відновлювальних робіт і т. ін. Відмови цієї групи звичайно потребують направлення ремонтної бригади у місце виникнення відмови;

пошкодження елементів КМ, які встановлені обслуговуючим персоналом за час виконання планового обсягу робіт за поточним змістом і ремонтом КМ;

порушення допустимих значень геометричних і механічних параметрів КМ (висота підвішування КП, зигзаг і виноси, знос КП, місце розташування струн, натяг проводів КМ, висота підвішування компенсаторних вантажів і положення їх роликів, довжина і натяг ресорних струн і т. ін.), що встановлені під час періодичних вимірювань цих параметрів.

зменшується, в результаті чого погіршуються параметри графіку руху трамваїв (зменшується кількість трамваїв, швидкість руху і т. ін.)

відмови 3-го роду – відзначаються в елементах КМ за час виконання робіт за поточним складом і ремонту, при проведенні контрольних вимірів і т. ін. Відмови цього роду, як правило, не впливають на графіки руху трамваїв.

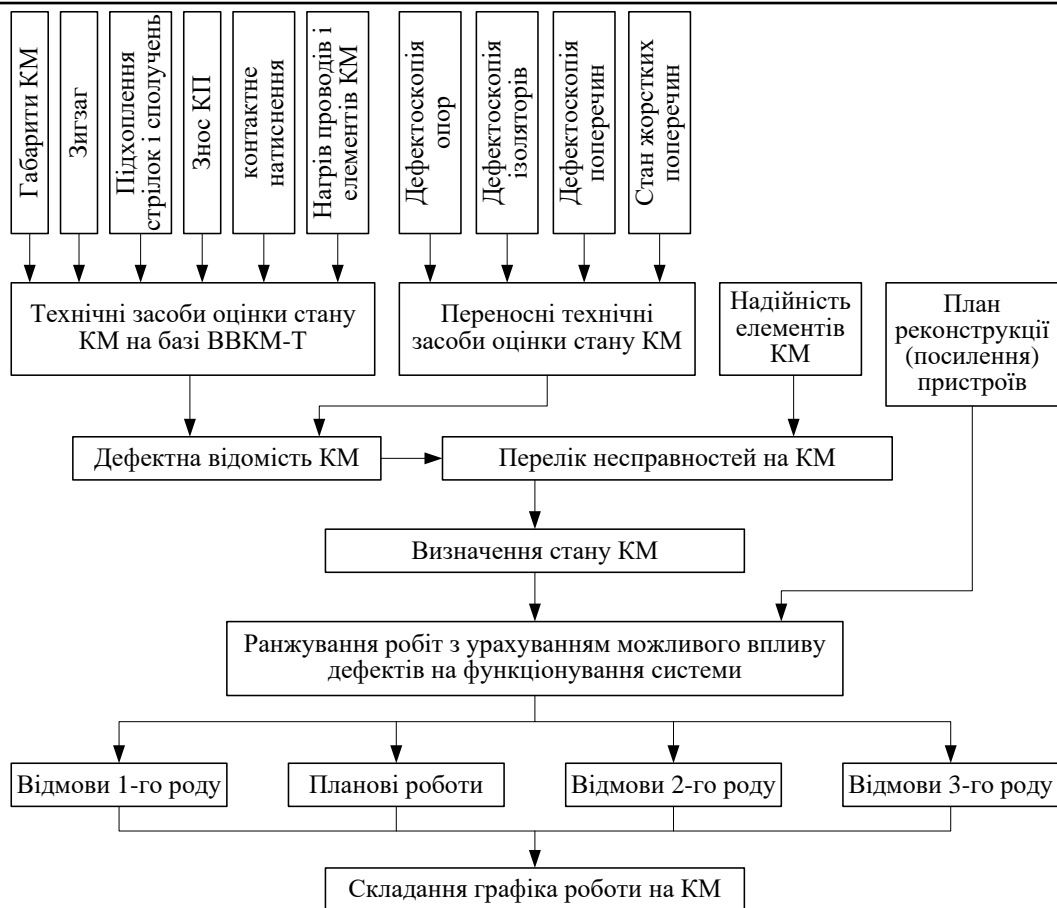


Fig. 2. Структурна схема визначення фактичного стану КМ і планування робіт

Подібний підхід дозволяє встановити порядок проведення робіт з урахуванням їх необхідності і терміновості, а також оцінити стан КМ за результатами ремонту (рис.2).

В процесі експлуатації можуть виникати відмови 1-го роду, що викликані рядом факторів, врахувати які в розрахунковій моделі неможливо через непередбачуваність їх появи (наприклад, обриви контактних та інших проводів несправним струмоприймачем). У випадках таких відмов необхідно направляти ремонтну бригаду в місце їх виникнення. Це змінює запланований графік проведення робіт і потребує внесення змін в поточну звітність.

Надійність КМ виражає її здатність працювати безвідмовно і зберігати свої механічні і експлуатаційні параметри в межах, що необхідні для забезпечення безперервного струмозняття при всіх експлуатаційних умовах міського електротранспорту.

Надійність КМ визначається кількісними і якісними характеристиками (критеріями, показниками) надійності. До них відносяться безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність елементів.

Безвідмовність – це працездатність на протязі певного часу без вимушених перерв в результаті виникнення відмов. Безвідмовність КМ і її елементів визначається імовірністю безвідмовної роботи (імовірністю настання відмови), параметром потоку відмов і напрацюванням на відмову. Імовірність безвідмовної роботи КМ як системи – це імовірність

того, що на протязі заданого періоду часу в ній не виникне жодної відмови. З метою спрощення розрахунків КМ розглядається як система, що складається з послідовно зв'язаних елементів. Напрацювання на відмову (середній час між двома послідовними відмовами) елементів або всієї системи визначається як відношення сумарного часу нормального функціонування елементів однакового типу чи системи КМ до кількості відмов, що з'явилися в заданому проміжку часу, наприклад за годину.

За допомогою вказаних вище критеріїв для кількісного визначення безвідмовної системи і її складових можна оцінювати вплив екстремальних значень атмосферних умов (температури, вітру, ожеледиці і т. ін.) на безвідмовність окремих елементів КМ і на підставі результатів цих оцінок проводити конкретні заходи щодо поліпшення надійності конструкцій. Цю оцінку слід виконувати співставленням числових значень кількісних характеристик безвідмовності елементів КМ, що визначаються для періодів часу з екстремальними атмосферними і нормальними умовами праці.

В роботах [11–13] систематизовані і узагальнені типи КД КМ за докладністю, способу призначення, наявності миттєвої індикації об відмовах. В роботах зроблені висновки, що для прийняття оперативного і правильного рішення о проведенні УК необхідні малоінерційні контури керування. Ними можуть стати математичні моделі, що реалізовані у вигляді програм ЕОМ. Встановлено, що конструкція КМ і стратегії

технічного обслуговування і ремонту знаходяться в тісному зв'язку. Якщо проект об'єкту засновано на засадах безпечного ресурсу, то обирається система технічного обслуговування по напрацюванню, якщо за принципом безпечної пошкоджуваності, то – за станом. Система технічного обслуговування за напрацюванням та станом з контролем параметрів підходять лише для об'єктів зі зростаючою інтенсивністю відмов. Для об'єктів з постійною інтенсивністю відмов профілактичні УК загалом не ефективні і навіть шкідливі через можливість появи прирабочних відмов.

Ремонтпридатність КМ визначається ступенем пристосованості її для попередження, виявлення та усунення несправностей шляхом технічного обслуговування і ремонту (планового або випадкового). Кількісно ремонтпридатність оцінюється середнім часом відновлення і коефіцієнтами технічного використання, готовності, простою, ефективності функціонування та вартості експлуатації.

Середній час відновлення визначається як середній час перерв в електропостачання трамваїв та тролейбусів, що необхідний для визначення місця відмови КМ і ліквідації її наслідків. Закон розподілу часу відновлення елементів – нормальний логарифмічний, але оскільки час відновлення системи загалом незначний, то можливо також користуватися експоненціальним законом розподілу. Коефіцієнт технічного використання визначається як відношення сумарного часу справної роботи елементів або системи КМ до загального часу їх роботи в одному і тому ж інтервалі часу. До того ж в загальний час роботи включаються усі вимушені простої для виконання профілактичних і ремонтних робіт, діагностики і т. ін. Коефіцієнт готовності виражає імовірність того, що КМ або окремих її елементів буде справним в будь-який момент часу. Він представляє собою відношення сумарного часу справної роботи системи (елементу) до загального часу справної роботи і відновлення. Коефіцієнт простою – це відношення сумарного часу простоїв до загального часу справної роботи і простою на протязі контрольованого періоду.

Виконання робіт на КМ, особливо зі знаттям напруги і в технологічні «вікна», має бути узгоджене з диспетчером, який дає дозвіл на їх проведення. Для скорочення перерв в русі трамваїв і тролейбусів необхідно розглядати можливість спільного використання технологічних вікон при ремонті шляху і технічного обслуговування КМ.

Довговічність визначається, ресурсом (терміном служби) КМ в цілому і її елементів окремо. Ресурс окремих елементів враховує вплив ряду факторів, таких як: процеси природного старіння, режими струмового навантаження, процеси корозії, електрокорозійного і механічного носу і т. ін. Ресурс КМ і окремих елементів зумовлений вибором матеріалів і захисних покриттів при проектуванні і виготовленні, однак в процесі експлуатації, застосовуючи системи сучасного діагностування, можливо безперервно слідкувати за ходом реалізації планованих ресурсів, прогнозувати можливість розвитку несприятливих

процесів і приймати заходи для збільшення строків служби всіх елементів системи.

Складність конструкції КМ, різноманітність елементів за характером протікаючих фізико-хімічних процесів, навантажень і рівнем надійності призводять до того, що оптимальні строки виконання технічного обслуговування і ремонту для КМ практично відсутні. Через це задачу призначення КД необхідно розбити на дві складові: розробку моделей призначення КД для окремих елементів КМ і наступним їх групуванням для проведення різного ступеню повноти відновлення.

Для опису процесів технічної експлуатації необхідна формалізація показників якості функціонування КМ. Усі розглянуті в [3, 12] показники якості у вигляді критеріїв оптимізації можуть бути поділені за своїм змістом на три категорії: критерії структурної надійності, критерії функціональної надійності, економічні критерії. Кожен показник можна розподілити на дві групи: для кінцевих проміжків напрацювання необхідно використовувати сумарні показники, для нескінченних – питомі.

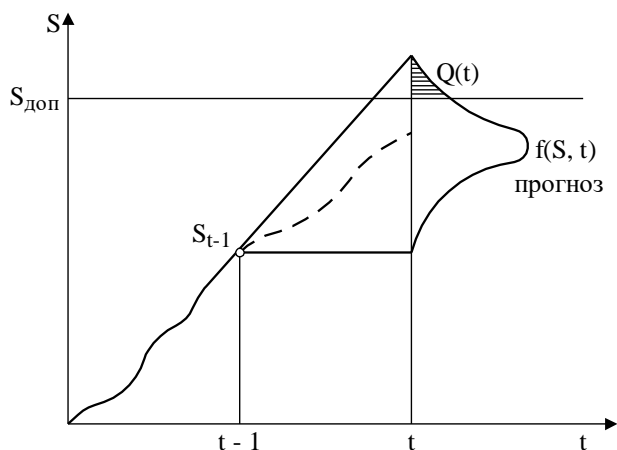
Застосування системи технічного обслуговування за станом з контролем параметрів можливо, якщо:

- умови експлуатації умов КМ не допускають роботу до відмови;
- за економічними міркуваннями необхідна експлуатація КМ до вироблення ресурсу;
- пристрої КМ мають високе функціональне значення при недостатньому ступеню резерву;
- існує високий рівень експлуатаційної технологічності і ремонтно-придатності.

Технологія обслуговування за станом з контролем параметру, що монотонно змінюються

Хай стан пристрою КМ характеризується деяким визначальним параметром (fig. 3, a). З досвіду експлуатації відомо, що показники надійності пристроїв КМ можна розрахувати, ґрунтуючись на моделі параметр – поле допуску. Нехай відомий і незмінний закон розподілу прирощень визначаючого параметру у перерізах процесу. Нехай також відомі моментні функції параметрів процесу і межа поля допуску.

а) достовірний контроль



б) з урахуванням похибки вимірювань

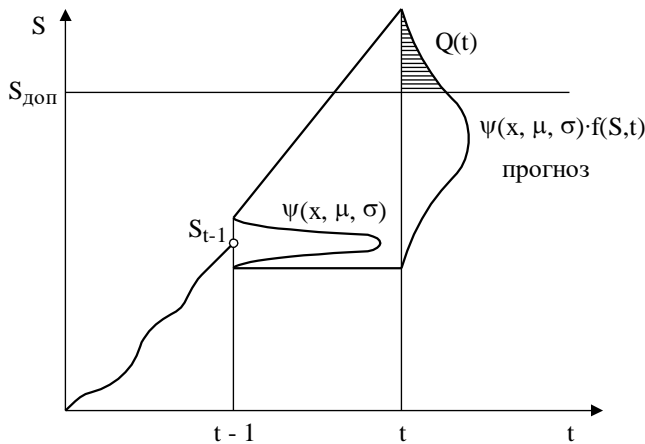


Fig. 3. Обслуговування за станом з контролем параметру, що монотонно змінюється

Якщо визначаючий параметр не перевищив поле допуску, то для проведення профілактичного КД будуть необхідні відносно невеликі витрати. При виході визначального параметра за кордон поля допуску відбувається відмова і потрібно аварійне КД. В цьому випадку у витрати на КД увійдуть усі види збитку від відмов. Розглянемо питомі витрати [3].

$$M_t = \begin{cases} \frac{C_n}{t} & \text{при } t < t_{\text{отк}}, \\ \frac{C_a + C_n}{t} & \text{при } t \geq t_{\text{отк}}, \end{cases}$$

де C_a і C_n — відповідно витрати на проведення профілактичного і аварійного КД, до того ж C_n включають в себе і витрати на діагностику;

t — час;

$t_{\text{від}}$ — момент часу відмов.

Середні питомі витрати будуть дорівнювати

$$M(t) = \frac{C_a + C_n}{t} \cdot Q(t) + \frac{C_n}{t} \cdot [1 - Q(t)] = \frac{C_a}{t} \cdot Q(t) + \frac{C_n}{t}, \quad (1)$$

де $Q(t)$ — імовірність відмови об'єкта до моменту часу t , виходить з моделі відмови «параметр — поле допуску».

Розглянемо спочатку випадок, коли напрацювання змінюється безперервно. Знайдемо мінімум середніх питомих витрат

$$\frac{dM(t)}{dt} = \frac{C_a \cdot q(t) \cdot t - 1 \cdot C_a \cdot Q(t)}{t^2} - \frac{C_n}{t^2} = \frac{C_a [q(t) \cdot t - Q(t)] - C_n}{t^2}$$

Прирівняємо отриманий вираз до нуля

$$C_a [q(t) \cdot t - Q(t)] - C_n = 0$$

Звідки

$$q(t) \cdot t - Q(t) = C_n / C_a. \quad (2)$$

Нехай тепер t змінюється дискретно $t = 1, 2, \dots, n$. Тоді функція $M(t)$ буде мати вигляд, подібний показаному на fig. 4

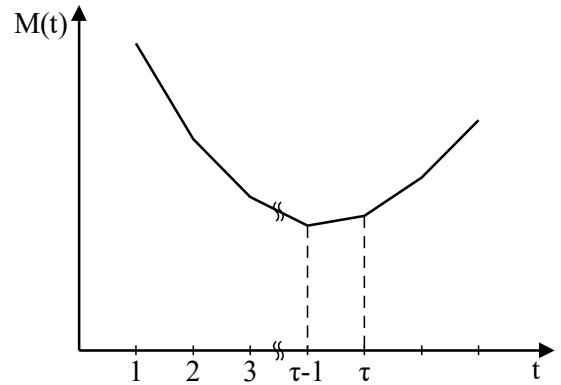


Fig. 4. Залежність середніх питомих витрат

Якщо рухатися по вісі напрацювання від 1 до моменту, що відповідає τ , можна помітити, що справедлива умова

$$M(t-1) \geq M(t) \text{ для всіх } t \leq \tau.$$

Запишемо цю нерівність з урахуванням (1)

$$\frac{C}{t-1} \cdot Q(t-1) + \frac{C_n}{t-1} \geq \frac{C}{t} \cdot Q(t) + \frac{C_n}{t} \quad (3)$$

$$Q(\tau) \leq \frac{C_n + C_a \cdot \tau \cdot Q(\tau-1)}{C_a \cdot (\tau-1)}$$

Відповідно, рішенням рівняння (3) буде таке найбільше $\tau = 2, 3 \dots, n$, при якому ще вірна нерівність.

Розглянемо застосування такої технології для визначення строку КД за результатами контролю зносу контактних проводів.

Припустимо, що в перерізах процес приросту місцевих зносів описується розподілом Вейбула. Усі інші вихідні дані відомі. Введемо ідеалізацію, що на анкерній ділянці має усього одну точку місцевого зносу. Обмеження про одиничність точки місцевого зносу не є принциповим і в подальшому буде знято. Запишемо рівняння для імовірності відмови (обриву) КМ через знос

$$Q(t) = \exp \left[- \left(\frac{S_{\text{доп}} - S_{\text{дост}} - S_{\text{min}}(t)}{\eta(t)} \right)^{\beta(t)} \right], \quad (4)$$

де $S_{\text{доп}}$ — допустиме значення зносу, мм^2 ;

$S_{\text{дост}}$ — досягнуте значення зносу, мм^2 ;

$S_{\text{min}}(t)$, $\eta(t)$, $\beta(t)$ — функції параметрів розподілу Вейбулла приросту зносу.

Таке рівняння ґрунтується на достовірному контролі. Практично же результат контролю завжди супроводжується похибкою. Похибка контролю впливає на прогноз. Якщо допустити, що похибка контролю має щільність розподілу, то результат прогнозу повинен визначатися сумою випадкових величин (fig. 3, б). Перша з них — випадкова величина помилки контролю, інша випадковий приріст зносу. Припущення о незалежності цих випадкових величин не суперечить фізичному змісту явищ. Нехай похибки контролю розподілені за законом Гауса. Щільність розподілу суми незалежних випадкових величин

визначається згортокою. Щільність розподілу похибки має вигляд

$$\psi(\mu, x, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right],$$

де μ і σ – параметри розподілу;

x – випадкова величина похибки.

Щільність розподілу приростів зносу $f(S, t)$ задана розподілом Вейбулла. Попередньо окресливши $\omega = x + \Delta S$, отримуємо

$$\psi(\mu, x, \sigma) \times f(S, t) = \int_{S_{\min}(t)}^{\infty} f(z) \psi(\omega - z) dz, \quad (5)$$

або підставивши вихідні вирази

$$\psi(\mu, x, \sigma) \times f(S, t) = \frac{\beta(t)}{\sigma\sqrt{2\pi}\eta(t)^{\beta(t)}} \int_{S_{\min}(t)}^{\infty} [z - S_{\min}(t)]^{\beta(t)-1} \times \exp\left\{-\left[\frac{z - S_{\min}(t)}{\eta(t)}\right]^{\beta(t)} - \frac{(\omega - z - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dz. \quad (6)$$

Вирішити таке рівняння можна числовим інтегруванням. Розглянуті рівняння описують імовірність відмови при наявності єдиної точки місцевого зносу. В дійсності точок місцевого зносу багато. Надійність анкерної ділянки КМ визначається послідовним (за надійністю) з'єднанням усіх точок місцевого зносу. Приймаючи, що імовірність одночасного обриву за зносом в двох і більше точках дуже мала в порівнянні з імовірністю обриву в одній точці, отримуємо

$$Q(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - Q_i(t)], \quad (8)$$

де $Q_i(t)$ – імовірність обриву в i -й точці місцевого зносу;

n – кількість точок місцевого зносу.

Вартість проведення КД повинна визначатися з врахування конкретних місцевих умов. Стосовно контактних проводів має три види керуючих впливів. По мірі досягнення зносом небезпечних значень натяг проводів перерегулюється. Ділянки проводу з граничним зносом вирізаються і замість них встановлюються вставки нового проводу. Точки максимального зносу укріплюються шунтами.

Практично строк керуючого впливу розраховується наступним чином. Спочатку обирається точка з найбільшим зносом і для неї підраховується імовірність відмови. По ній розраховується строк КД. Потім обирається наступна за величиною зносу точка, для неї також визначається імовірність відмови. Розраховується імовірність відмови отриманої системи. Знаходиться строк КД. Якщо строк проведення КД зменшився, то ітерації продовжуються. Як тільки уточнення від врахування чергової точки стане менше заданої величини, ітерації припиняються.

Для анкерної ділянки із наступними вихідними даними $C_n = 288$ грн.; $C_a = 7744$ грн.; $D = 144$ грн.; $P = 2 \cdot 10^4$ трамвай/рік; $S_{\text{дост}} = 20$ мм²; $S_{\text{доп}} = 40$ мм², функції параметрів розподілу були наведені вище, при

достовірному контролю отримано оптимальний строк КД 11 років. При збільшенні досягнутого зносу до 28 мм² строк скорочується до 6 років. При зносі 35 мм² оптимальний строк 3 роки. Зменшення річної кількості проходів трамвая з $2 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^4$ викликає збільшення оптимального строку при 28 мм² зносі до 11 років, питомі витрати знижуються з 95,2 до 46,16.

При недостовірному контролю із середнім квадратичним відхиленням похибки 2 мм², зносі 28 мм² і кількості проходів трамвая $2 \cdot 10^4$ оптимальний строк КД скоротився до 5 років, математичне очікування питомих витрат зросло до 127,7 грн. Збільшення середньої квадратичної похибки до 6 мм² збільшує витрати до 337,92 грн.

V. ВИСНОВКИ

Існуюча планово-попереджувальна система експлуатації КМ призводить до недовикористання потенційного строку служби пристроїв. Це суперечить ресурсозбереженню і веде до збільшення поточних витрат на експлуатацію і завищення обсягів ремонту. Комплексне діагностування параметрів дозволяє оцінити стан елементів КМ за показниками надійності, безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і проводити вибірково заміну екстремально навантажених елементів до настання термінів їх відмови.

Розроблені ресурсозберігаючі технології експлуатації КМ за станом: з контролем параметра, що монотонно змінюється і марковською апроксимацією зносу КМ.

VI. ЛІТЕРАТУРА

- [1] Проблемы железнодорожного транспорта. Задачи и пути их решения: сб. трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Б.М. Лапидуса, Г.В. Гогричани. М.: Интекст, 2012. – 260 с.
- [2] Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте: материалы Шестого международного симпозиума «Элтранс-2011», 25-28 октября 2011 года. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. – 584 с.
- [3] Ефимов А. В. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. – М.: УМК МПС России, 2000. – 512 с.
- [4] Kiessling F. Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance / F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder, E. Schmieder, 2-nd Edition, Berlin and Munich. Siemens, 2009. – 994 p.
- [5] Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / Вологин В. А. – М.: Интекст, 2006. – 256 с.
- [6] Доманський І. В. Основи енергоефективності електричних систем з тяговими навантаженнями: монографія / І. В. Доманський // НТУ „ХПІ”. – Харків: вид-во ТОВ «Центр інформації транспорту України», 2016. – 224 с.
- [7] Вологин В. А. Мониторинговая система оценки состояния контактной сети / В. А. Вологин, П. Г. Тюригин // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Т.1. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2003. – С. 373–376.
- [8] Ефимов А. В. Разработка и испытание устройства удаления гололеда с двойных контактных проводов импульсно-резонансным способом / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин, А. В. Бунзя // Транспорт Урала. – 2007. – № 1. – С. 105–112.
- [9] Доманський В.Т. Опыт и перспективы создания эффективной системы диагностики контактной сети железных дорог Украины / В. Т. Доманский, И. В. Доманский, А. В. Корниенко // Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте: материалы

- Четвертого международного симпозиума «Элтранс-2007». - СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, – 2009. – С. 226–232.
- [10] Доманский И. В. Эксплуатация контактной сети по состоянию и минимуму расходов / И. В. Доманский // *Залізничний транспорт України*. – 2009. – № 2/1. – С. 12–15.
- [11] Доманский И. В. Ресурсосберегающая система эксплуатации контактной сети по состоянию / И. В. Доманский// *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – Харків. – 2009. – № 5/6 (41). – С. 51–56.
- [12] Доманський В. Т. Концепція технічного обслуговування пристроїв електропостачання залізниць за станом на базі їх діагностики і моніторингу / В. Т. Доманський, К. В. Переверзев // *Українська залізниця*. – 2019. № 3(69). – С. 9–13.
- [13] Доманський В. Т. Моделювання та експериментальні дослідження взаємодії контактної мережі і струмоприймачів / В. Т. Доманський, Переверзев К. В. // *Комунальне господарство міст*. – 2019. – Вип. 1(147). – С. 146–157.

Resource-saving technologies of operation of a contact network on the state for city electric transport

M. Khvorost

O.M. Beketov National University of
Urban Economy in Kharkiv,
Ukraine

I. Domanskiy

O.M. Beketov National University of
Urban Economy in Kharkiv,
Ukraine

V. Vasenko

Communal Enterprise
«MISKELEKTROTRANSSEKSPLOATACIYA»,
Ukraine

The work is devoted to solving an urgent task - to develop a complex of scientifically-based proposals of conditions and measures that provide technologies for the operation of electricity traction networks based on energy and resource conservation. The article deals with theoretical and practical issues of technology development and repair of the contact network (CN) on state to ensure the process of passenger transportation. The technical criteria for the status of CN are determined and the technologies of maintenance are offered as monotonically changing parameter control. The set of diagnostic and reliable indicators is offered. Generalized structural diagrams of the system of assessment of the condition of the CN and the ranking of repair work taking into account the possible impact of defects. It is proposed to rank them by three characteristic features: first-class failures in which the CM as a system completely loses its capacity; type 2 failures (partial) in which the effectiveness of the functioning of the CM decreases; failures of the 3rd kind - are noted in the elements of KM for the time of work on the current composition and repair.

It is shown that the use of maintenance system according to the state with parameter control is possible if: operating conditions of the CM conditions do not allow the work to failure; KM devices have high functional value with insufficient degree of reserve; there is a high level of operational adaptability and repairability.

The basic criteria of the condition of the CM and the quality of current flow are summarized. Technologies based on the synthesis of probabilistic methods of parameter estimation, real diagnostics and simulation modeling of the CM state are proposed. The basic criteria of the condition of KM, which allow to estimate the resource saving during maintenance and repair, are defined.

Keywords – operation and diagnostics, electric transport contact network, interaction with current collectors, resource-saving technologies.