

В.М. Шавкун<sup>1</sup>, І.В. Доманський<sup>2</sup>, Г.А. Доманська<sup>3</sup>, А.Б. Окрутний<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна

<sup>2</sup>Український державний хіміко-технологічний університет, Україна

<sup>3</sup>Український державний університет науки і технологій, Україна

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЗА СТАНОМ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Запропоновано нові технології експлуатації контактних мереж і реалізації надійного і економічного струмозняття на міському електротранспорті. Розглянуті теоретичні і практичні питання технологій обслуговування і ремонту контактної мережі по стану. Узагальнені основоположні критерії стану контактної мережі та якості струмозняття. Проведені експериментальні дослідження контактної мережі та запропоновано метод оцінки якості струмозняття та стану контактних підвісок по залежностям контактного натиснення.

**Ключові слова:** контактна мережа електротранспорту, експлуатація та діагностика, взаємодія з струмоприймачами, ресурсозберігаючі технології.

### Постановка проблеми

В умовах ресурсозбереження значний ефект може дати перехід від обслуговування контактної мережі (КМ) по нормах до технічного обслуговування по стану на базі комплексної діагностики її елементів. Однак, на сьогоднішній день при наявності технічних засобів діагностики КМ відсутні критерії оцінки їх стану. Тому для підвищення якості діагностики і переходу до перспективного обслуговування необхідно узагальнити і вибрати основоположні критерії якості струмозняття і стану КМ та запропонувати технології експлуатації по мінімуму витрат.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Передумовою до постановки і рішення задачі удосконалення електротягових мереж міського електротранспорту та забезпечення ресурсо-енергозбереження при їх експлуатації стали праці вчених [1–10]. Запропонований підхід до розробки ресурсозберігаючих технологій експлуатації КМ дозволив узагальнити фундаментальні дослідження відмічених вище авторів у області якості електропостачання міського електротранспорту.

Одним з найбільш перспективних методів зниження експлуатаційних витрат є перехід до науково обґрунтованих термінів ремонту і планування робіт на основі фактичного стану КМ, надійність якої визначається безвідмовністю, ремонтпридатністю і довговічністю елементів. Це можливо за наявності комплексної системи моніторингу і діагностики параметрів і критеріїв їх оцінки [2, 11–13].

Запропоновані науково обґрунтовані принципи розвитку технології експлуатації електричних систем з тяговими навантаженнями міського електротранспорту за станом і мінімальними витратами в процесі їх життєвого циклу, що в сукупності вирішує проблему ресурсозбереження [10–15].

### Мета і задачі дослідження

Удосконалення технологій обслуговування контактної мережі по стану для забезпечення надійного і економічного струмозняття міського електротранспорту.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- узагальнити і вибрати основоположні критерії якості струмозняття і стану контактної мережі, які дозволяють оцінити ресурсозбереження при технічному обслуговуванні і ремонті;
- запропонувати алгоритми інформаційних технологій обслуговування контактної мережі по стану і мінімуму витрат із забезпеченням надійного і економічного струмозняття.

### Виклад основного матеріалу

До основних критеріїв процесу струмозняття відносяться: величини зносу контактної пари, відриви струмоприймачів від проводів, розмах коливань полоза і контактного натиснення, коефіцієнти ненадійності роботи контакту і економічності струмозняття, а також мінімум річних експлуатаційних витрат. Величина зносу контактних пар в експлуатації є найбільш об'єктивним

критерієм оцінки їх роботи. Відривки струмоприймачів від проводів є критерієм, який можна використовувати під час інспекційних і експериментальних поїздок, що дає миттєву оцінку надійності струмозняття, хоча і не враховує можливість підйому проводів під тиском

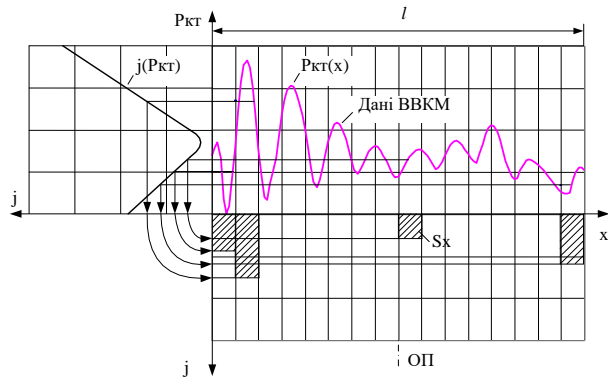


Рис. 1. Схема визначення  $K_e$

струмоприймача. Коефіцієнт відривів  $K_e$ , визначається як процентне відношення суми часу відривів до періоду спостереження  $K_e = \sum t_e / T \cdot 100\%$ . Контактне натиснення характеризується розмахом його коливань в прольоті  $2\Delta P_{кт} = P_{кт\max} - P_{кт\min}$ . Малий розмах коливань означає, що динамічна складова контактного натиснення немає суттєвого впливу на натиснення. Коефіцієнт ненадійності роботи контакту  $K_H$  характеризує його схильність до виникнення пошкоджень (підйом проводів під тиском струмоприймача або перепалів) та базується на визначенні мінімальних і максимальних натиснень, що допускаються, випадки виходу за які умовно вважаються відмовами. Величина виходу за недопустиме значення натиснення задається шкалою небезпеки з коефіцієнтами  $\Psi_{maxi}$  і  $\Psi_{mini}$ . Ваговий коефіцієнт економічності  $K_e$ , характеризує втрату контактуючих матеріалів, приведену до 1 км підвіски і пробігу 1 000 струмоприймачів · км. Коефіцієнти  $K_H$  і  $K_e$  визначаються за формулами:

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^v n_i' \Psi_{maxi} + \sum_{i=1}^v n_i'' \Psi_{mini}}{n}; \quad (1)$$

$$K_e = \frac{1000}{n} \sum_{i=1}^v j_i n_i, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість інтервалів натиснення в контактні;

$n_i$  – кількість випадків даного натиснення на  $i$ -м інтервалі;

$v$  – кількість даних розрядів контактного натиснення;

$j_i (P_{кт}, I_{\Delta})$  – інтенсивність зносу у функції натиснення і струму  $i$ -го інтервалу.

Визначення  $K_e$  для прольоту компенсованої підвіски (рис. 3) можливо, якщо є залежність  $j_i (P_{кт}, I_{\Delta})$  для даної ковзаючої контактної пари і реальні криві контактного натиснення в даному прольоті  $P_{кт}(x)$ . Знос в прольоті виходить як сума площ зносу для всіх інтервалів. Поділивши цю суму на довжину прольоту, визначають середній знос, поділивши його на струмоприймач-пробіги – коефіцієнт економічності і питомий знос.

У розділі запропоновані ресурсозберігаючі технології обслуговування по стану з контролем параметрів, що монотонно змінюються, марківського апроксимацією зносу КП та технології, які базуються на синтезі реальної діагностики та імітаційного моделювання взаємодії контактних підвісок і струмоприймачів в основу яких покладені роботи О. В. Єфімова, О. Г. Галкіна і імовірні методи оцінки стану пристроїв КМ і вибору необхідних керуючих дій (КД) в тому числі контроль зигзагів, уклонів і зносу КП.

Досліджено, що в процесі експлуатації КП деградують, і в першу чергу за рахунок зносу. Деградаційні процеси викликають поступові відмови. Перша група відмов: обриви, перепади, місцевий знос – вимагають КД по врізанню вставки або установці шунта. Друга група: перепад, зменшення середнього перетину менше допустимого вимагають КД по заміні проводу всієї анкерної ділянки. Після проведення КД першого типу КП повертається в працездатний стан з попереднім значенням визначального параметра. При проведенні КД другого типу визначальний параметр повертається в початковий стан. Якщо крок квантування вибрати таким, щоб інтенсивності відмов і переходів з одного стану в інше з достатнім ступенем точності були постійними, то для дослідження можна скористатися графом станів і переходів, а також диференціальними рівняннями Колмогорова (рис. 2).

Позначимо через  $S_i$  такий стан КП, коли випадкове значення середнього зносу знаходиться в  $i$ -м інтервалі квантування. При цьому стани  $S_0 \dots S_{n-1}$  є працездатними,  $S_n$  – станом повної відмови, відновлення з якого можна провести тільки

заміною КП. Стан  $S_n$  є таким, що поглинає. Із станів  $S_0 \dots S_{n-1}$  КП може переходити в стан  $S_{0i}$  ( $0 \leq i \leq n-1$ ) першої групи відмов. Де:  $\eta_i$  - інтенсивність відмов першої групи із стану  $S_i$ ;  $\lambda_i$  - інтенсивність відмов другої групи із стану  $S_i$ ;  $\varepsilon_i$  - інтенсивність зміни визначального параметра на  $i$ -м кроці квантування;  $\mu_i$  - інтенсивність відновлень із стану  $S_{0i}$  в  $S_i$ . Система диференціальних рівнянь для графа станів, має вигляд:

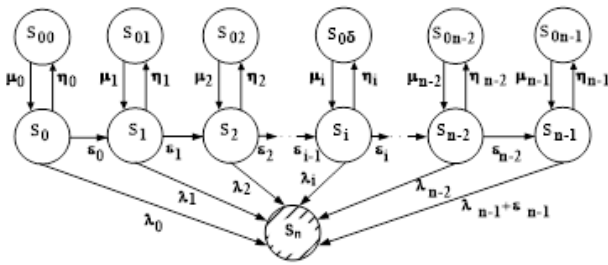


Рис. 2. Граф станів і переходів КП

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\varepsilon_0 + \lambda_0 + \eta_0) \cdot P_0(t) + \mu_0 \cdot P_{00}(t); \\ \frac{dP_{00}(t)}{dt} = \eta_0 \cdot P_0(t) - \mu_0 \cdot P_{00}(t); \\ \dots \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = \varepsilon_{i-1} \cdot P_{i-1}(t) + \mu_i \cdot P_{0i}(t) - (\varepsilon_i + \lambda_i + \eta_i) \cdot P_i(t); \\ \frac{dP_{0i}(t)}{dt} = \eta_i \cdot P_i(t) - \mu_i \cdot P_{0i}(t); \\ \dots \\ P_n(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \lambda_i \cdot P_i(t) + \varepsilon_{n-1} \cdot P_{n-1}(t). \end{cases} \quad (3)$$

У розділі розроблена комплексна система технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання (ПЕ) за станом на базі їх діагностики і моніторингу. Технологія експлуатації ПЕ за станом на звичайних, швидкісних і високошвидкісних магістралях вимагає високої якості оцінки їх параметрів і критеріїв. Джерелом інформації для виявлення передвідмовних станів ПЕ служать дані, отримані за результатами діагностики, моніторингу, аналізу і моделювання. Для ТП однією з найбільш ефективних являється безперервна (у режимі on-line) діагностика часто пошкодженого і дорогого комутаційного і випрямного устаткування, трансформаторів на базі засобів постійного технічного діагностування. Запропоновано підвищення якості діагностики шляхом синтезу

результатів моделювання критеріїв стану ПЕ та постійно діючої діагностики. Це дозволяє своєчасно виявляти відмову ПЕ.

Для діагностики КМ такої можливості немає. ВВКМ діагностує стан КМ тільки в точці контакту вимірювального струмоприймача і контактного проводу (КП) на швидкості, для якої ведуться вимірювання, тобто дати прогноз поведінки КМ в умовах, що відрізняються від існуючих при об'їзді проблематично. Необхідно збільшувати частоту об'їздів. При цьому вимірювання параметрів для оцінки стану 100 км КМ з використанням ВВКМ оцінюється в 36–45 тис. грн. Проведення обчислювальних експериментів дозволяє спостерігати картину взаємодії струмоприймачів з КМ на всій анкерній ділянці і отримувати необхідні параметри і критерії для оцінки стану підвісок при різних швидкостях руху та інших факторів, що впливають на струмозняття. Встановлено, що вартість наповнення баз знань ЕС для оцінки стану підвісок КМ на базі сучасних моделей практично в 5 разів нижче в порівнянні з ВВКМ. Таким чином, ресурсозберігаюча технологія експлуатації КМ вимагає синтезу двох джерел інформації для оцінки стану КМ: діагностики в експлуатації і моделювання динамічної взаємодії КМ і струмоприймачів.

Встановлено, що термін служби КП залежить від наступних факторів: матеріалу контактних елементів струмоприймачів, струму, що протікає через ковзний контакт, числа проходів струмоприймачів, швидкості руху, значень і характеру зміни натисень в контакт і ін. Більшість з зазначених факторів визначає середній знос КП. Лише характер зміни натисення в контакт істотно впливає на нерівномірність зносу контактних елементів полоза і КП і терміну їх служби. Для їх визначення передбачається імітаційне моделювання статичних та динамічних показників якості струмозняття усіх ділянок електротранспорту. Умова нормування і початкові умови такі:

$$\sum_{i=0}^n P_i(t) + \sum_{i=0}^{n-1} P_{0i}(t) = 1, P_0(0) = 1; \\ P_i(0) = 0 \text{ для } 1 \leq i \leq n; P_{0i}(0) = 0 \text{ для } 1 \leq i \leq n-1.$$

Структура системи рівнянь дозволяє вирішувати задачу поетапно. На першому етапі використовуємо перші два рівняння. Після їх перетворення по Лапласу з урахуванням початкових умов і переходу від зображення до функції часу з використанням формули розкладу Хевісайда визначаються  $P_0(t)$  і  $P_{00}(t)$ . Потім по аналогії

$P_i(t)$  і  $P_{oi}(t)$ . Вірогідність знаходження КП в поглинаючому стані

$$P_n(t) = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} [P_i(t) + P_{oi}(t)].$$

Функція готовності, густина розподілу часу безвідмовної роботи, повна інтенсивність відмов та середня інтенсивність відновлення із стану  $S_{oi}$  в  $S_i$  визначаються за формулами:

$$\Gamma(t) = \sum_{i=0}^{n-1} P_i(t); \quad q(t) = \frac{d\Gamma(t)}{dt};$$

$$\Lambda(t) = \frac{q(t)}{\Gamma(t)}; \quad \mu_T = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\prod_{j=0}^i \mu_j \cdot \varepsilon_{j-1}}{\prod_{j=1}^{2(i+1)} (-S_j)}. \quad (4)$$

Таким чином, всі показники надійності визначені і є можливість їх використання при визначенні стану КП анкерної ділянки. Досвід показує, що найбільш ефективна діагностика стану пристроїв КМ поєднує оцінку стану пристроїв на математичних, імітаційних моделях та вимірювань з використанням ВВКМ.

У розділі розроблена комплексна система технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання (ПЕ) за станом на базі їх діагностики і моніторингу. Технологія експлуатації ПЕ за станом на звичайних, швидкісних і високошвидкісних магістралях вимагає високої якості оцінки їх параметрів і критеріїв. Джерелом інформації для виявлення передвідмовних станів ПЕ служать дані, отримані за результатами діагностики, моніторингу, аналізу і моделювання. Для ТП однією з найбільш ефективних являється безперервна (у режимі on-line) діагностика часто пошкодженого і дорогого комутаційного і випрямного устаткування, трансформаторів на базі засобів постійного технічного діагностування. Запропоновано підвищення якості діагностики шляхом синтезу результатів моделювання критеріїв стану ПЕ та постійно діючої діагностики. Це дозволяє своєчасно виявляти відмову ПЕ.

Для діагностики КМ такої можливості немає. ВВКМ діагностує стан КМ тільки в точці контакту вимірювального струмоприймача і контактного проводу (КП) на швидкості, для якої ведуться вимірювання, тобто дати прогноз поведінки КМ в умовах, що відрізняються від існуючих при об'їзді

проблематично. Необхідно збільшувати частоту об'їздів. При цьому вимірювання параметрів для оцінки стану 100 км КМ з використанням ВВКМ оцінюється в 36–45 тис. грн. Проведення обчислювальних експериментів дозволяє спостерігати картину взаємодії струмоприймачів з КМ на всій анкерній ділянці і отримувати необхідні параметри і критерії для оцінки стану підвісок при різних швидкостях руху та інших факторів, що впливають на струмозняття. Встановлено, що вартість наповнення баз знань ЕС для оцінки стану підвісок КМ на базі сучасних моделей практично в 5 разів нижче в порівнянні з ВВКМ. Таким чином, ресурсозберігаюча технологія експлуатації КМ вимагає синтезу двох джерел інформації для оцінки стану КМ: діагностики в експлуатації і моделювання динамічної взаємодії КМ і струмоприймачів.

Встановлено, що термін служби КП залежить від наступних факторів: матеріалу контактних елементів струмоприймачів, струму, що протікає через ковзний контакт, числа проходів струмоприймачів, швидкості руху, значень і характеру зміни натисень в контакт і ін. Більшість з зазначених факторів визначає середній знос КП. Лише характер зміни натисення в контакт істотно впливає на нерівномірність зносу контактних елементів полоза і КП і терміну їх служби. Для їх визначення передбачається імітаційне моделювання статичних та динамічних показників якості струмозняття усіх ділянок головних колій міського електротранспорту.

Найточнішим показником якості струмозняття при статичній обробці кривих контактного натисення є дотримання умови  $M[P] - 3\sigma[P] \geq P_{\min \text{ доп}}$ , де  $P_{\min \text{ доп}}$  – мінімальне допустиме значення контактного натисення. Як показує досвід для оцінки якості динаміки струмозняття досить користуватися абсолютним значенням максимальної змінної складової контактного натисення  $|P_v|_{\max}$ . Тоді коефіцієнт відносної зміни натисення можна представити виразом  $n = |P_v|_{\max} / M[P]$ . Характеризуючи експлуатаційний стан КМ по параметру контактного натисення має сенс розглядати всі показники  $n$ ,  $\sigma[P]$ ,  $|P_v|_{\max}$ . Розроблена методика оцінки якості струмозняття і експлуатаційного стану КМ на основі статистичної обробки баз даних кривих контактного натисення і показано, що за рахунок раціонального натягу КП, можна забезпечити необхідну якість струмозняття і понизити знос контактуючих елементів.

Запропоновано контролювати наступні параметри системи КМ – струмоприймач: знос КП;



нагрів проводів і струмопровідних затискачів; висоту КП над рівнем головки рейок; зигзаги і виноси КП; відриви струмоприймачів, підбої (удари); кути нахилу фіксаторів (висота основних стержнів фіксаторів); різницю у висотах проводів на спряженнях і стрілками; статичне і динамічне натиснення полоза струмоприймача; наявність місцевого перепалу КП; стан ізоляторів; стан іскрових проміжків і діодних заземлень. Частина вказаних параметрів контролюється ВВКМ, а інша частина пристроями діагностики струмоприймачів (рис. 3).

В автоматизовану систему діагностики струмоприймачів (АСДС) запропоновано включити наступні пристрої діагностики: пристрій реєстрації інформації про електровоз: його ідентифікований номер, тип ЕРС, тип струмоприймача (ПРІ); реєстратор зовнішнього стану струмоприймача (РЗС); пристрій контролю положення полоза струмоприймача (ППП); реєстратор стану струмозйомних накладок (РСН); реєстратор натиснення струмоприймача (РНС); реєстратор інерційності струмоприймача (РІС). Сигнали з ділянок РЗС, ППП, РСН, РНС, РІС передаються у цифровому вигляді по кабелю оптоволоконного зв'язку в приміщення для установки апаратури ПУА, аналізуються в ПУА і видається сигнал на зовнішній показник.

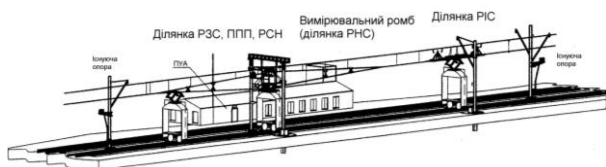


Рис. 3. Загальний вигляд АСДС

Діагностика виконується на станційних або тракційних коліях з рухом ЕРС під робочою напругою КМ. АСДС це цифрова телевізійна система з комп'ютерною обробкою зображень. У системі знімається і обробляється зображення струмоприймача і його елементів декількома телевізійними растровими камерами. Отримані в різних ракурсах зображення обстежуваного струмоприймача порівнюються з відповідними характеристиками еталонного струмоприймача даного типу. Результати порівняння архівуються. Діагностика всіх струмоприймачів ЕРС в процесі руху по спеціальній ділянці головних колій, на вході або виході з депо істотно зменшать кількість їх відмов і як наслідок пошкодження контактних підвісок і затримок поїздів. Економічні розрахунки експертів показують, що перехід на обслуговування КМ та струмоприймачів за станом з використанням технологій ресурсозбереження дозволять знизити експлуатаційні витрати на обслуговування 100 км

розгорнутої довжини КМ на 400 тис. грн в рік.

Технологія технічного обслуговування за станом є алгоритм призначення заходів з підтримки заданого технічного стану обладнання ТП та КМ в процесі їх експлуатації. Процес технічного обслуговування і час проведення керуючих дій можна оптимізувати. Критеріями оптимізації можуть бути показники готовності пристроїв або мінімізація витрат часу і матеріальних засобів на обслуговування КМ. Для координації діяльності, вирішення методологічних, методичних і метрологічних питань та організації роботи на міському електротранспорті в області діагностики і моніторингу стану КМ, електротехнічного обладнання підстанцій і ліній електропередач запропонована структура аналітичного центру діагностики. Розроблено узагальнену схему ЕС для виявлення технічного стану ПЕ та вироблення керуючих впливів в аналітичних центрах систем управління на міському електротранспорті. Проведення комплексної діагностики ПЕ покладається на діагностичні центри. За результатами аналізу визначаються коригувальні заходи впливу щодо усунення передвідмовних ситуацій, дані передаються в дистанції електропостачання. За результатами комплексного діагностичного обстеження робиться експертний висновок про обладнання: необхідність і обсяг ремонту або заміни, терміни проведення наступних випробувань, продовження терміну служби.

Для поліпшення якості струмозняття запропоновані рішення підвищення натягу проводів і тросів КМ. Це дає можливість удосконалити конструкцію КМ в цілому і полегшує розміщення контактних підвісок в штучних спорудах та дозволяє здійснити ресурсозбереження за рахунок зменшення висоти опор КМ і витрати матеріалів на виготовлення струн. Технологія експлуатації електричних систем з тяговими навантаженнями за станом та підвищення якості регулювання пристроїв для зменшення зносу КП в сукупності вирішує проблему ресурсозбереження та дозволяє понизити експлуатаційні витрати в 1,5 раз.

## Висновки

1. Розроблено перспективне рішення задачі удосконалення конструкцій і технологій експлуатації КМ, зокрема обслуговування і ремонт контактних підвісок за станом на базі їх комплексної діагностики, підвищення якості регулювання підвісок в процесі зносу КП з використанням моделей взаємодії КМ і струмоприймачів, застосування нового покоління наноконпозиційних проводів і пристроїв їх натягу, що в сукупності вирішує проблему ресурсозбереження.

2. Встановлено і експериментально підтверджено вимірюваннями на реальних ділянках змінного струму, що основоположними критеріями стану КМ є контактне натиснення і коефіцієнти ненадійності і економічності струмозняття. Запропоновано розширити функції ВВКМ в області вимірювання основоположних критеріїв для обслуговування КМ по стану.

3. Запропоновані інформаційні технології оцінки стану контактних підвісок в процесі їх експлуатації на базі синтезу двох джерел інформації: діагности в режимі реального часу і імітаційного моделювання. Розроблена узагальнена схема експертної системи для аналізу стану КМ та керуючих дій в аналітичних центрах систем управління. Показано направлення розвитку конструкцій контактних підвісок та їх проектування з використанням імітаційних моделей.

### Література

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2011 році. Київ : «Укрзалізниця», головне управління електрифікації та електропостачання, 2012. 323 с.
2. Аналіз роботи господарства електропостачання в 2015 році. Київ.: ПАТ «Українська залізниця», департамент електропостачання, 2016. 148 с.
3. Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. М : Интекст, 2006. 256 с.
4. Доманський В. Т., Переверзев К. В. Концепція технічного обслуговування пристроїв електропостачання залізниць за станом на базі їх діагностики і моніторингу. Українська залізниця. – 2019. №3(69). С. 9–13.
5. Доманський І. В. Основи енергоефективності електричних систем з тяговими навантаженнями: монографія. НТУ „ХПИ”. Харків: вид-во ТОВ «Центр інформації транспорту України», 2016. 224 с.
6. Корниенко В. В., Котельников А. В., Доманський В. Т. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы (Аналитический обзор): монография. Киев : Транспорт Украины, 2004. 196 с.
7. Переверзев К. В. Современные методы и средства диагностики контактных сетей электрифицированных железных дорог. Українська залізниця. 2019. №6(72). С. 23–27.
8. Столбов П. В. Высокоскоростная специализированная матричная камера с расширенным динамическим диапазоном и сжатием изображения. Материалы 14-ой международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений». 2017. С. 54–57.
9. Шевяков С. М., Сиротинин В. И., Сафин В. Г., Воронин А. В. Видеоизмерительные системы диагностики контактной сети. Евразия Вести. 2017. №11. С. 23.
10. Demydov O., Liubarskyi B., Domanskyi V, Glebova M., Iakunin D., Tyshchenko A. Determination of optimal parameters of the pulse width modulation of the 4qs transducer for electric rolling stock. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 29–38. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143789>.
11. Domanskyi I., Kozlova O. Development prospects of external power supply electrical networks of traction substations. Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. 2020. Вип. 1(154). С. 8–15. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-8-15
12. Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E. Contact Lines for Electric Railways : Planning, De-sign, Implementation, Maintenance, 3rd Edition. Wiley Publishers, 2017. 994 p.
13. Sarnes B. Измерительная система для определения положения и износа контактного провода. Elektrische bahnen. 2001. №12, P. 490–495.
14. Schmidt H., Schmieder A. Current collection for high-speed transport. Elektrische Bahnen. 2005. №4, P. 231–236.
15. Sohei Yamada, Toshihide Kishi, Hiroshi Yamamoto. Utilization of Data Obtained Using Power Equipment Monitoring System Equipped to Series E235 Rolling Stock, JR EAST Technical Review. 2016. No.34. P. 33 – 36.
16. Хворост М.В., Доманський І.В., Васенко В.О. Ресурсозберігаючі технології експлуатації контактної мережі за станом для миського електротранспорту. Світлотехніка та електроенергетика. 2020. Вип. 58, № 02. С. 3–9. DOI: 10.33042/2079-424X-2020-2-58-3-9.
17. Information technology – digital compression and coding of continuous-tone still images – Requirements and guidelines. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.w3.org/graphics/jpeg/itu-t81.pdf>.

### References

1. Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2011 rotsi. Kyiv : «Ukrzaliznytsia», holovne upravlinnia elektryfikatsii ta elektropostachannia. (2012). (in Ukrainian)
2. Analiz roboty hospodarstva elektropostachannia v 2015 rotsi. Kyiv : PAT «Ukrainska zaliznytsia», de-partament elektropostachannia, (2016). (in Ukrainian)
3. Vologin, V. A. (2006). Vzaimodeystvie tokopriemnikov i kontaktnoy seti. M : Intekst. (in Russian)
4. Domanskyi, V. T., & Pereverzjev, K. V. (2019). Kontseptsiya tekhnichnogo obslugovuvannya pristroiv elektropostachannya zaliznits za stanom na bazi ikh diagnostiki i monitoringu. *Ukrainska zaliznitsya*, 3(69), 9–13. (in Ukrainian)
5. Domanskyi, I. V. (2016). Osnovi energoefektivnosti elektrichnikh sistem z tyagovimi navantazhennyami: monografiya. Kharkiv: TOV «Tsentr informatsii transportu Ukraïni». (in Ukrainian)
6. Kornienko, V. V., Kotelnikov, A. V., & Domanskyi, V. T. (2004). Elektrifikatsiya zheleznykh dorog. Miroye tendentsii i perspektivy (Analiticheskiy obzor): monografiya. Kiev : Transport Ukrainy. (in Russian)
7. Pereverzev, K. V. (2019). Sovremennyye metody i sredstva diagnostiki kontaktnykh setey elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog. *Ukrainska zaliznitsya*, 6(72), 23–27. (in Russian)
8. Stolbov, P. V. (2017). Vysokoskorostnaya spetsializirovannaya matrichnaya kamera s rasshirenym dinamicheskim diapazonom i szhatiemy izobrazheniya. Materialy 14-oy mezhdunarodnoy konferentsii «Televidenie: peredacha i obrabotka izobrazheniy». pp. 54–57. (in Russian)
9. Shevyakov, S. M., Sirotnin, V. I., Safin, V. G., & Voronin, A. V. (2017). Videoizmeritelnye sistemy diagnostiki kontaktnoy seti. *Yevraziya Vesti*, 11, 23. (in Russian)
10. Demydov O., Liubarskyi B., Domanskyi V, Glebova M., Iakunin D., Tyshchenko A. (2018) Determination of optimal parameters of the pulse width modulation of the 4qs transducer for electric rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 29–38. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143789>. (in English)

11. Domanskyi I., & Kozlova O. (2020). Development prospects of external power supply electrical networks of traction substations. *Komunalne gospodarstvo mist: nauk.-tekh. zb.*, 1(154), 8–15. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-8-15 (in English)
12. Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A., & Schneider, E. (2017). *Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance*, 3rd Edition. Wiley Publishers. (in English)
13. Sarnes, B. (2001). Izmeritel'naya sistema dlya opredeleniya polozheniya i iznosa kontaktного provoda. *Elektrische bahnen*. 12, 490–495. (in Russian)
14. Schmidt, H., & Schmieder A. (2005). Current collection for high-speed transport. *Elektrische Bahnen*, 4, 231–236. (in English)
15. Sohei Yamada, Toshihide Kishi, Hiroshi Yamamoto. (2016). Utilization of Data Obtained Using Power Equipment Monitoring System Equipped to Series E235 Rolling Stock, *JR EAST Technical Review*. 34. 33 – 36. (in English)
16. Khvorost M.V., Domanskyi I.V., Vasenko V.O. (2020). Resursozberihaiuchi tekhnologii ekspluatatsii kontaktnoi mrezhi za stanom dlia miskoho elektrotransportu. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka*. 58(02), 3–9. DOI: 10.33042/2079-424X-2020-2-58-3-9. (in Ukrainian)
17. Information technology – digital compression and coding of continuous-tone still images – Requirements and guidelines. www.w3.org. Retrieved from <https://www.w3.org/graphics/jpeg/itu-t81.pdf>. (in English)

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Х. Далека, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ШАВКУН Вячеслав Михайлович  
кандидат технічних наук, доцент кафедри  
електричного транспорту  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [vm.shavkun@gmail.com](mailto:vm.shavkun@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3253-1282>

**Автор:** ДОМАНСЬКИЙ Ілля Валерійович  
доктор технічних наук, професор кафедри  
енергетики  
Український державний хіміко-технологічний  
університет  
E-mail – [ilya.domanskiy@gmail.com](mailto:ilya.domanskiy@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-410X>

**Автор:** ДОМАНСЬКА Галина Анатоліївна  
кандидат технічних наук, доцент кафедри  
електронні обчислювальні машини  
Український державний університет науки і  
технології  
E-mail - [galinadom5@gmail.com](mailto:galinadom5@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5746-299X>

**Автор:** ОКРУТНИЙ Андрій Богданович  
аспірант кафедри електричного транспорту  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [andriytrolleybus@gmail.com](mailto:andriytrolleybus@gmail.com)

## PROSPECTIVE TECHNOLOGIES OF MAINTENANCE AND REPAIR OF THE CONTACT NETWORK ACCORDING TO THE STATE OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT

V. Shavkun<sup>1</sup>, I. Domanskyi<sup>2</sup>, G. Domanska<sup>3</sup>, A. Okrutnyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Ukrainian State University of Chemistry and Technology, Ukraine

<sup>3</sup> Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine

*Maintenance technology is an algorithm for assigning measures to maintain the specified technical condition of TP and CM equipment during their operation. The operable state of TP and CM is achieved by performing tasks: predicting changes in parameters and strength; designation of parameter tolerance limits; determination of parameters and patterns of load changes; development of device failure models; collecting information about the current state of devices and analyzing the causes of failures; development of diagnostic tools and methods; selection and calculation of maintenance technology parameters; organization of maintenance and repair system works.*

*The process of technical maintenance and the time of KD can be optimized. Optimization criteria can be indicators of device readiness or minimization of time and material costs for TP and KM maintenance. The following indicators of the maintenance and repair system have been approved: average and specific duration, labor intensity, cost, availability and technical use coefficients.*

*Given the complex operating conditions of the CM and the fact that it actually has no redundancy, it is necessary to continuously monitor the reliability indicators of the system as a whole and its elements in particular. With the help of these indicators, it is possible to determine the most appropriate technologies, organization, periodicity and volume of preventive and repair work for the maintenance of KM and optimization of these works under the condition of economy.*

*New technologies for the operation of contact networks and the implementation of reliable and economical current removal on urban electric transport are proposed. Considered theoretical and practical issues of maintenance and repair technologies of the contact network by condition. The fundamental criteria of the state of the contact network and the quality of current collection are generalized. Experimental studies of the contact network were carried out and a method of assessing the quality of current removal and the condition of contact suspensions based on the dependence of contact pressure was proposed.*

**Keywords:** electric transport contact network, operation and diagnostics, interaction with current receivers, resource-saving technologies.