

# Технологія обслуговування контактної мережі за станом з марковською апроксимацією зносу контактних проводів

К.В. Переверзєв  
ТОВ «ДАК-Енергетика»,  
Україна  
E-mail: k.pereverzev@i.ua

В.О. Васенко  
КП «Міськелектротранссервіс»,  
Україна  
E-mail: dvt.nord@gmail.com

Г.А. Доманська  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
Україна  
E-mail: galinadom5@gmail.com

Анотація – Удосконалено технології обслуговування контактної мережі за станом для забезпечення надійного і економічного струмозняття на електрифікованих залізницях і в електротягових мережах міського електротранспорту. Встановлено, що 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. Запропоновані основні критерії процесу струмозняття: 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.

Розроблено технологію обслуговування за станом з контролем параметра марковського типу. Розроблені моделі керуючих дій процесів регулювання зигзагів і ухилу контактної мережі. Для вирішення задачі використано стандартний алгоритм лінійного програмування. Показано застосування такої технології для визначення матриці керуючих дій за результатами контролю зигзага і ухилу (може нахилу?) контактних проводів. Встановлені фактори, що визначають вартості перебування в станах зигзагів. Визначені матриці керуючих дій по зигзагам і ухилам контактної мережі і вартості перебування в цих станах ухилів.

Запропоновано технологію обслуговування з марковською апроксимацією зносу контактних проводів. Досліджено, що в процесі експлуатації контактні проводи деградуєть, і в першу чергу за рахунок зносу. Деградаційні процеси викликають поступові відмови. Перша група відмов: обриви, перепали, місцевий знос – вимагають керуючих дій по врізанню вставки або установці шунта. Друга група: перепал, зменшення середнього перетину менше допустимого вимагають керуючих дій по заміні проводу всієї анкерної ділянки. Після проведення керуючих дій першого типу контактний провід повертається в працездатний стан з попереднім значенням визначального параметра. При проведенні керуючих дій 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. Визначена функція готовності, густина розподілу часу безвідмовної роботи, повна інтенсивність відмов та середня інтенсивність відновлення із стану  $S_{0i}$  в  $S_i$ . Таким чином, всі показники надійності визначені і є можливість їх використання при визначенні стану контактної мережі анкерної ділянки.

Досвід показує, що найбільш ефективна діагностика стану пристроїв контактної мережі поєднує оцінку стану пристроїв на математичних, імітаційних моделях та вимірювань з використанням вагон-лабораторій випробувань контактної мережі та пристроїв стеження за параметрами контактної мережі для автотрибуналу.

*Ключові слова – контактна мережа, контактний провід, технологія обслуговування, моделі керуючих дій.*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Транспортна стратегія України передбачає продовження міжнародних транспортних коридорів з широким використанням електрифікованих залізниць та розвитком електротранспорту великих міст. Це вимагає вдосконалення електротягових систем і технологій їх експлуатації у напрямку ресурсо- і енергозбереження. Відомо, що питома пошкоджуваність контактної мережі (КМ) на 100 км розгорнутої довжини залізниць та міського електротранспорту висока і лежить в межах 0,65–0,75. З великими темпами збільшується довжина КМ з експлуатацією на третьому етапі життєвого циклу, яка недостатньо досліджена, а система обслуговування і ремонту КМ не відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження і потребує вдосконалення.

Необхідно розробити перспективне обслуговування КМ і усвідомлено йти на початкове збільшення витрат на модернізацію її конструктивних елементів, що істо-

тно підвищить експлуатаційну надійність і зменшити пошкоджуваність. Тому для підвищення якості діагностики і переходу до перспективного обслуговування необхідно узагальнити і вибрати основоположні критерії якості струмознімання і стану КМ і удосконалити моделі відмов, навантажень, взаємодії КМ і струмоприймачів та запропонувати технології експлуатації по мінімуму витрат. Наведене вище і визначає актуальність теми роботи.

Метою роботи є удосконалення технологій обслуговування контактної мережі по стану для забезпечення надійного і економічного струмознімання на електрифікованих залізницях і в електротягових мережах міського електротранспорту.

## II. ТЕХНОЛОГІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ З КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРА МАРКОВСЬКОГО ТИПУ

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 діагностиці параметрів і критеріїв їх оцінки [1–10]. До основних критеріїв процесу струмознімання відносяться: величини зносу контактної пари, відриви струмоприймачів від проводів, розмах коливань полоза і контактного натиснення, коефіцієнти ненадійності роботи контакту і економічності струмознімання, а також мінімум річних експлуатаційних витрат [3, 4, 6, 8].

Розглянемо об'єкт, параметр якого описується ланцюгом Маркова. Нехай є всього  $N$  станів ( $i \in 1 \dots N$ ). Припустимо, що відомі всі перехідні ймовірності некеруваного процесу  $q_{ij}$  або в матричній формі  $\|q_{ij}\|$ . Нехай також відомі фінальні ймовірності перебування процесу в станах  $\|\pi_i\|$  і вартості перебування в цих же станах  $\|z_i\|$ . При знаходженні параметра в будь-якому стані може бути прийнято рішення про проведення керуючих дій (КД). Наслідком проведення КД буде переведення параметра в інший стан. Проведення КД пов'язано з витратами. Припустимо, що такі витрати відомі  $\|C_{ij}\|$ . Ймовірність того, що в стані  $i$  буде прийнято рішення перевести параметр в стан  $j$  позначимо як  $D_{ij}$  або в матричній формі  $\|D_{ij}\|$ . Матрицю керуючих дій  $\|D_{ij}\|$  належить знайти в результаті рішення.

Тоді можна записати вираз для середніх питомих витрат

$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N \sum_{j=1}^N \pi_i \cdot D_{is} \cdot q_{sj} \cdot z_j + \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N \pi_i \cdot D_{is} \cdot C_{is}, \quad (1)$$

де  $\pi_i$  – стаціонарна (фінальна) ймовірність перебування параметра в стані  $i$ ;

$D_{is}$  – ймовірність того, що в стані  $i$  буде прийнято рішення перевести систему в стан  $s$ ;

$q_{ij}$  – перехідна ймовірність некеруваного процесу;

$z_j$  – вартість перебування параметра в стані  $j$  протягом одного кроку;

$C_{is}$  – вартість керуючого впливу;

$N$  – число станів.

При цьому стаціонарні ймовірності повинні задовольняти системі рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \pi_i \cdot q_{yij} = \pi_j \text{ для } j \in 1 \dots N; \\ \sum_{j=1}^N \pi_j = 1, \end{cases} \quad (2)$$

де  $q_{yij} = \sum_{s=1}^N q_{is} \cdot D_{sj}$  – ймовірність переходу керуваного процесу, яка описує процес з урахуванням відновлення.

Можна ввести позначення  $x_{is} = \pi_i \cdot D_{is}$ . Тоді

$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N x_{is} \left( C_{is} + \sum_{j=1}^N q_{sj} \cdot z_j \right), \text{ а система рівнянь пере-}$$

пишеться у вигляді:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N x_{is} \cdot q_{sj} = \sum_{s=1}^N x_{js} \text{ для } j \in 1 \dots N; \\ \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^N x_{js} = 1. \end{cases} \quad (3)$$

У такому вигляді формулюється задача лінійного програмування: мінімізувати середні питомі витрати при обмеженнях у вигляді системи рівнянь (3). Рішення зводиться до пошуку таких  $x_{is}$ , які задовольняючи системі рівнянь (3) звели б середні питомі витрати до мінімуму. Для вирішення задачі може використовуватися стандартний алгоритм лінійного програмування. Зворотний перехід від  $x_{jk}$  до  $D_{jk}$  здійснюється за формулою:

$$D_{jk} = x_{jk} / \sum_{s=1}^N x_{js}. \quad (4)$$

В результаті отримуємо матрицю  $\|D_{ij}\|$  керуючих дій. У кожному рядку цієї матриці є один елемент що дорівнює одиниці, інші елементи рядка дорівнюють нулю. Частина елементів матриці, рівних одиниці, розташована на головній діагоналі, інші в різних стовпчиках. Наявність одиниць не на головній діагоналі означає необхідність обов'язкової зміни елемента, з перекладом його в стан, номер якого відповідає номеру стовпчика з одиницею. Знаходження одиниць на діагоналі означає, що параметр регулюванню не підлягає.

Розглянемо застосування такої технології для визначення матриці керуючих дій за результатами контролю зигзага і ухилу контактних проводів. Відповідно до [1] діагностику зигзагів і ухилів, а також КД по ним прийнято проводити один раз в квартал. Тому за крок процесу приймаємо 1 квартал. Переймаючись періодичністю контролю і КД, розрахуємо межу поля допуску. Як було розглянуто вище, модель процесу порушень регулювання зигзагів містить шість станів. Для вирішення завдання необхідно визначити вартості перебування в станах, вартості КД.

Величина зигзага впливає на нерівномірність зносу накладок полозів струмоприймача. Але не тільки величина зигзага визначає знос полозів. Існує поняття ефекту "S" образності. Такий ефект полягає в тому, що через реакцію струн, при застосуванні напівкосої й особливо косої (вітростійкої) підвісі, контактний провід (КП), підвішений зигзагом висить не по прямій. Струни відтягують провід в середній частині прольоту до осі колії. В результаті КП, підвішений зигзагом, більшу частину прольоту знаходиться у осі струмоприймача. Це викликає збільшення нерівномірності зносу накладок струмоприймачів. Ремонт струмоприймачів прово-

диться тоді, коли хоча б одна з накладок зноситься більше допустимого рівня. Величина зигзагу впливає на вітростійкість підвіски. Зигзаг величиною понад 500 мм вважається аварійним і може привести до поломки струмоприймача.

Всі перераховані фактори визначають вартості перебування в станах зигзагів. Для однієї з ділянок КМ вартості перебування в станах зигзагів представлені в табл. 1. Вартості КД повинні враховувати витрати праці і перерви руху поїздів. Для цієї ж ділянки отримана вартість керуючої дії в 13,6 грн. незалежно від стану зигзага.

TABLE I. ВАРТОСТІ ПЕРЕБУВАННЯ В СТАНАХ ЗИГЗАГІВ, ГРИВЕНЬ

Зигзаг на першій опорі	Зигзаг на другий опорі, мм					
	0...100	100...200	200...300	300...400	400...500	500 і більше
0...100	21,60	14,40	12,96	12,32	11,84	337,76
100...200	14,40	7,20	5,76	5,20	4,80	330,56
200...300	12,96	5,76	4,32	3,76	3,36	329,12
300...400	12,32	5,20	3,76	3,12	2,80	328,48
400...500	11,84	4,80	3,36	2,80	2,40	328,16
500 і більше	337,76	330,56	329,12	328,48	328,16	325,92

Примітка. Вартості в останньому рядку і останньому стовпчику різко відрізняються від інших через те, що розрахунок таблиці ґрунтується на припущенні, що при знаходженні зигзага на опорі в шостому кванті протягом кварталу обов'язково станеться одна відмова. Однак це припущення не є обов'язковим.

Простір станів зигзага двовимірний. Розмірність задачі виходить велика. Щоб спростити рішення будемо вважати стан одного з зигзагів фіксованим, іншого – випадковим. Вартості перебування в станах кожен раз коригуються з урахуванням стану фіксованого зигзага

$$z_i = \sum_{k=1}^6 q_{jk} \cdot z_{ki} \quad (5)$$

де  $q_{jk}$  – ймовірність переходу фіксованого зигзага зі стану  $j$  в стан  $k$  (стан фіксований);

$z_{ki}$  – вартість перебування в  $k$ -му стані стовпця  $i$  (табл. 1) для розрахункового зигзагу.

Для ділянки КМ з розглянутими вище перехідними ймовірностями отримана матриця керуючих дій, розмірністю 36×36. У компактному вигляді вона представлена в табл. 2.

TABLE II. МАТРИЦЯ КЕРУЮЧИХ ДІЙ ПО ЗИГЗАГАМ

Стан зигзагу на попередній опорі	Стан зигзагу на наступній опорі					
	1	2	3	4	5	6
-2	4	4	3	4	3	4
-3	2	4	3	4	3	4
-4	2	4	3	4	3	2

Примітка. Знак мінус враховує чергування зигзагів на прямій ділянці колії.

При знаходженні зигзагів в квантах 1, 5, 6 завжди потрібна КД. При знаходженні зигзагів в інших квантах рішення повинно прийматися з урахуванням зигзага на сусідній опорі. Межі поля допуску при оптимальному управлінні ширше, ніж в правилах [1]. Отже, при тій же швидкості розвитку процесу порушень регулювання, витрати на обслуговування будуть нижче. Згаги отримують можливість довільно розташовуватися в межах від 200 до 400 мм. Випадковий розкид зигзагів призведе до "розмивання" щільності їх перебування при осі полоза. Це сприятливо позначиться на зниженні нерівномірності зносу накладок полоза.

Існує думка, що критерієм оптимальності ухилу контактних проводів повинна бути максимальна стабільність контактного натиснення струмоприймача. Але цього можна досягти лише при нульовому ухилі. Такий критерій був би справедливий при незмінному ухилі. Підтримка нульового ухилу може обійтися непомерними витратами аж до нескінченності. Доцільно визначити межу поля допуску по розглянутій технології.

Модель процесу порушень регулювання ухилу подібна до аналогічної моделі для зигзагів. Розмірність моделі ухилів в шість разів менше, ніж для зигзагів. Вартості перебування в станах ухилів визначаються з урахуванням їх впливу на знос проводів. Для однієї з ділянок отримана матриця вартостей перебування в станах ухилів протягом кварталу, яка представлена в табл. 3.

TABLE III. ВАРТІСТЬ ПЕРЕБУВАНЬ В СТАНАХ УХИЛІВ, ГРН.

Ухил, %	-6 ... 4	-4 ... -2	-2 ... 0	0 ... 2	2 ... 4	4 ... 6
Середня вартість	28,96	9,28	0	0	9,28	28,96

Вартість КД не залежить від стану і становить 20 грн. Для ділянки КС, з розглянутими вище перехідними ймовірностями, отримана матриця проведення регулювань. Вона вимагає КД лише при знаходженні ухилів в 1 і 6 квантах. В інших станах КД не може бути економічно виправдана.

Не слід забувати, що результати отримані для конкретних місцевих умов. В інших умовах будуть інші результати. Якщо розглянути високошвидкісні ділянки, то там, швидше за все, межі поля допуску будуть більш вузькі.

### III. ТЕХНОЛОГІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ З МАРКОВСЬКОЮ АПРОКСИМАЦІЄЮ ЗНОСУ КОНТАКТНИХ ПРОВОДІВ

Досліджено, що в процесі експлуатації КП деградують, і в першу чергу за рахунок зносу. Деградаційні процеси викликають поступові відмови. Перша група

відмов: обриви, перепали, 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. 1).

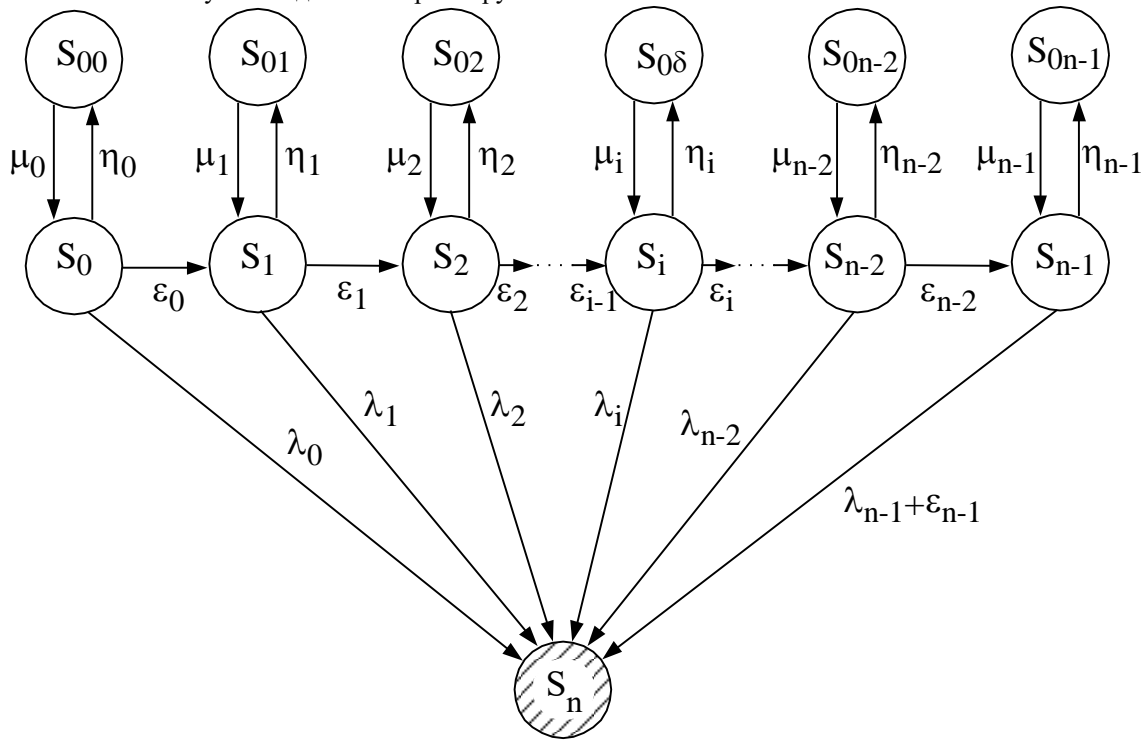


Fig. 1. Граф станів і переходів анкерної ділянки КП

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. Тут:  $\eta_i$  – 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:

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

Умова нормування і початкові умови такі:  
 $\sum_{i=0}^n P_i(t) + \sum_{i=0}^{n-1} P_{0i}(t) = I$ ,  $P_0(0) = I$ ;  $P_i(0) = 0$  для  $I \leq i \leq n$ ;  $P_{0i}(0) = 0$  для  $I \leq i \leq n-1$ . 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  $P_{0i}(t)$ . Вірогідність знаходження КП в поглинаючому стані  $P_n(t) = I - \sum_{i=0}^{n-1} [P_i(t) + P_{0i}(t)]$ . Функція готовності, густина розподілу часу безвідмовної роботи, повна інтенсивність відмов та середня інтенсивність відновлення із стану  $S_{0i}$  в  $S_i$  визначаються за формулами:

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

$$\Lambda(t) = \frac{q(t)}{\Gamma(t)}; \mu_T = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\prod_{j=0}^i \mu_j \cdot \varepsilon_{j-1}}{\prod_{j=1}^{2(i+1)} (-S_j)} \quad (6)$$

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 вагон-лабораторій випробувань контактної мережі та пристроїв стеження за параметрами контактної мережі для автоматизації.

#### IV. ВИСНОВКИ

Комплексна діагностика параметрів дозволяє оцінити стан елементів КМ за показниками надійності, безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і про-

## The technology of a condition based maintenance of an overhead contact line with Markov approximation of contact wire wear

K. Pereverzyev  
 «DAK-ENERGETIKA» LLC,  
 Ukraine

V. Vasenko  
 Communal Enterprise  
 «MISKELEKTROTRANSSEKSPERTIS»,  
 Ukraine

G. Domanska

Dnipro National University of Railway Transport named after V.Lazaryana,  
 Ukraine

The technologies of OCL condition based maintenance were improved for providing reliable and economic current collecting on electrified railways and in traction power networks of urban electric transport. It is established that one of the most perspective methods of reducing operating costs is the transition to scientifically justified terms of repair and planning of works based on the actual state of OCL, the reliability of which is determined by the reliability, repair suitability and durability of the elements. The basic criteria of the current collecting process are proposed: the value of contacting pair wear, the detachment of the current collectors from the wires, the scope of oscillations of pantograph head and the contact pressure, coefficients of contact unreliability and cost savings of collecting a power from catenary, and, finally, a minimum of annual operating costs.

водити вибірково заміну екстремальне навантажених елементів до наступу термінів їх відмови. Запропоновано ресурсозберігаючі технології експлуатації КМ за станом: з контролем монотонно змінюваного параметра та з марковською апроксимацією зносу КП.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць. – К.: Інпрес, 2008. – 208 с.
- [2] Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи / В.П. Михеев – М.: Маршрут, 2003. – 416 с. – (Учебник для вузов ж. д. транспорта).
- [3] Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / В. А. Вологин – М.: Интекст, 2006. – 256 с.
- [4] Ефимов А. В. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог /А. В. Ефимов, А.Г. Галкин. – М.: УМК МПС России, 2000. – 512 с.
- [5] 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.
- [6] Галкин А. Г. Теория и методы расчета процессов проектирования и технического обслуживания контактної мережі: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Галкин Александр Геннадьевич. – Екатеринбург, 2002. – 370 с.
- [7] Доманський В. Т. Концепція технічного обслуговування пристроїв електропостачання залізниць за станом на базі їх діагностики і моніторингу / В. Т. Доманський, К. В. Переверзєв // Українська залізниця. – 2019. № 3(69). – С. 9–13.
- [8] Переверзєв К. В. Современные методы и средства диагностики контактных сетей электрифицированных железных дорог / К. В. Переверзєв // Українська залізниця. – 2019. № 6(72). – С. 23–27.
- [9] Shimizu M. Development of Transition Structures between Overhead Rigid Conductor Line and Catenary-Type Contact Line / M. Shimizu, T. Kobayashi [et al.] // RTRI Report, Vol.21, No.10, pp. 29-34, October 2007, (in Japanese).
- [10] Shimizu M. Development of Transition Structures between Overhead Rigid Conductor Line and Catenary-Type Contact Line / M. Shimizu, T. Kobayashi, A. Oya // RTRI Report, Vol.49, No.2, pp. 103-107, May 2008, (in Japanese).

Technology of maintenance according to Markov type parameter control is developed. Models of controlling actions on stagger and the contact wire gradient adjustment processes are developed. The standard linear programming algorithm was used to solve the problem. The application of such technology to determine the matrix of controlling actions based on the results of monitoring the stagger and the contact wire gradient is shown. The factors that determine the cost of staying in a state of stagger have been identified. The controlling actions matrices on the stagger and the contact wire gradient and the cost of staying in these gradient states are established.

The technology of service with Markov approximation of wear of contact wires is offered. It has been investigated that the contact wires, primarily due to wear, are degraded during operation. Degradation processes cause gradual failures. The first group of failures: breakages, burnouts, local wear - require controlling actions to incut the insertion or putting into operation a shunt. The second group: a burnout, a decrease in the average cross-section of a wire less than the allowable one requires controlling actions to replace the wire of the entire tension length. After conducting the first type of controlling actions, the contact wire returns to the working state with the previous value of the determining parameter. When performing a second type of controlling actions, the defining parameter returns to its original state. If the quantification step is chosen such that the intensities of failures and transitions from one state to another with a sufficient degree of accuracy were constant, then the graph of states and transitions, as well as the Kolmogorov differential equations, can be used for the research. The readiness function, the density of time distribution of infallible operation, the total failure rate, and the average recovery rate from state  $S_{0i}$  to  $S_i$  are determined. Thus, all reliability indicators are defined and it is possible to use them in determining the condition of the contact wire of the tension length.

Experience has shown that the most effective diagnostics of the condition of OCL devices combines the assessment of the state on mathematical, simulation models and measurements with the use of car laboratories for testing the contact network and devices for monitoring the parameters of the contact wire for the railcar.

*Key words –overhead contact line, contact wire, mainanance technology, controlling action models.*