

ЗМІНА ФОРМИ КОВЗНИХ КОНТАКТІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

У результаті проведених теоретичних досліджень отримано модель для опису зміни форми ковзних контактів у процесі експлуатації міського електротранспорту у вигляді системи диференціальних рівнянь для визначених початкових умов. Вирішивши цю систему з врахуванням геометрії вихідного стану вставки струмоприймача, можна отримати величину зміщення, за допомогою якої можна визначити утворений переріз вставки струмоприймача при відповідному пробігу міського електротранспорту.

Ключові слова: ковзні контакти, міський електротранспорт, вставки струмоприймача, надійність

Вступ

Одним з найпотужніших споживачів електроенергії народного господарства України є міський електротранспорт. В умовах світової економічної кризи, міський електротранспорт зберігає провідну роль у пасажироперевезеннях.

Сучасний етап розвитку країни супроводжується збільшенням випуску більш досконалого рухомого складу міського електротранспорту при постійному зростанні обсягів пасажироперевезень. Але існує проблема заміни морально та фізично застарілого рухомого складу міського електротранспорту. Крім того, використовуваний електротранспорт необхідно забезпечити високим рівнем надійності усіх його складових.

Однією з відповідальних систем, від якої залежить безпека руху на дорогах, безумовно є «струмоприймач – контактний провід». Серед складових деталей струмоприймачів електротранспорту найменшим ресурсом володіють ковзні контакти [1, 2].

Ковзні контакти міського електротранспорту, які встановлені на струмоприймачах, служать для зняття струму з контактного проводу [2]. Вони повинні забезпечувати надійне струмомознімання, як під час стоянки, так і під час руху електротранспорту за різними маршрутами, а також при їх відхиленні від осі підвіски контактних проводів.

Для забезпечення надійності роботи ковзних контактів міського електротранспорту ставлять вимоги щодо їх фізико-механічних та триботехнічних властивостей. Особливою складністю при вирішенні триботехнічних проблем у ковзних контактах є дія електричного струму, яка приводить до підсилювання умов зовнішнього тертя і зношування.

Ковзні контакти міського електротранспорту, які виготовлені з традиційних та компози-

ційних матеріалів не відповідають техніко-експлуатаційним вимогам, що ставляться для забезпечення надійності і довговічності даної системи, особливо, в умовах посилення навантажувально-швидкісних режимів експлуатації міського електротранспорту та виходячи з техніко-економічного критерію. Тобто, створення матеріалів для ковзних контактів, які задовольняли б жорстким вимогам експлуатації в екстремальних умовах є актуальною задачею для науково-дослідних установ та окремих розробників.

Аналіз попередніх досліджень

Сучасний аналіз процесу зношування [3-5] показує, що система деформування поверхневого шару при терті володіє багаторівневим характером. Матеріалам властиві неоднорідність структури поверхневого шару і в ньому концентруються скупчення дефектів та локалізуються внутрішні напруження. В результаті концентрації дефектів і росту їх в мікротріщини вздовж границь неоднорідних шарів відбувається руйнування.

Але процес зміни структур елементів системи в межах стану врівноваженості в залежності від зовнішніх умов (навантаження, температура), будови та властивостей матеріалів може досягти різного ступеню пристосованості, зокрема, до різних форм існування дислокаційної структури, її якісних та кількісних характеристик.

Зниження зносу повинно зводитися до анігіляції конфігураційної ентропії, тобто до подолаття вимог другого закону термодинаміки.

В теоріях неврівноваженого стану та динаміки систем [6] особливу увагу надають нестійкості в цих системах, що означає – початково малі зміни з часом можуть суттєво підсилитися. Існують системи з двома типами поведінки: такі, що відносяться до неупорядкованого стану

при одних умовах та до когерентного – при інших. Порушення впорядкованості відбувається в області термодинамічної рівноваги і поблизу неї. Порядок може утворюватись лише вдаліні від врівноваженості при умові підпорядкування системи нелінійним законам визначеного типу. В цьому плані дисипативні структури слід віднести до когерентних явищ, оскільки в них проявляється процес когерентної взаємодії частинок, який характерний для відкритих термодинамічних систем [4]. У відкритих системах відбувається обмін енергією і речовиною із зовнішнім середовищем.

Метою роботи є опис зміни форми ковзних контактів у процесі експлуатації міського електротранспорту.

Результати досліджень

Якщо розглянути взаємодію елементів ковзних контактів міського електротранспорту, то, можна виділити дві системи сил і деформацій: узагальнену і локальну. Узагальнена система характеризує опорну взаємодіючу поверхню ковзного контакту «вставка – провід».

Формування поверхні вставки струмоприймача в процесі попереднього припрацювання і подальшій експлуатації міського електротранспорту можна розглядати в загальному випадку як макрорельєф, а в локальному – як мікрорельєф. Причому макрорельєф буде визначатись сукупністю мікрорельєфів.

У процесі експлуатації геометрична форма вставки струмоприймача змінюється і являє собою складну поверхню n -го порядку, яку при фізичному моделюванні можна спростити і подати у вигляді поверхонь другого порядку, що переходять з одного виду в інший (рис. 1).

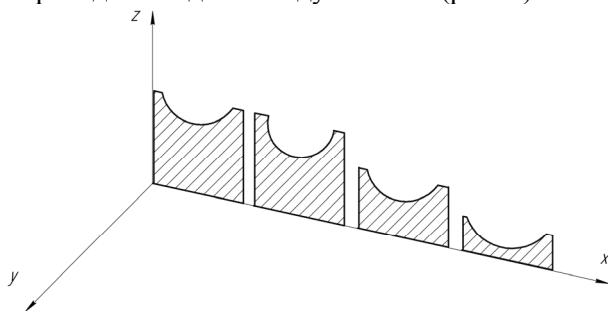


Рис. 1. Зміна геометричної форми поперечного перерізу вставки струмоприймача: від вихідного (нового) перерізу до перерізів після деякого пробігу міського електротранспорту

Розглянемо зміну форми перерізу вставок струмоприймача міського електротранспорту з математичної точки зору, врахувавши напружено-деформований стан робочої поверхні [5].

Для цього спрямуємо вісь ОУ вздовж напрямку руху контактного проводу, а ОХ і ОZ у перпендикулярних напрямках для руху струмоприймача вздовж контактного проводу. Тоді згідно роботи [5] координати точок поверхні вставки струмоприймача можна визначити за виразами:

$$x = f(y, z, c_1) \pm \sqrt{B(y, z, c_1)}; \quad (1)$$

$$y = f(x, z, c_2) \pm \sqrt{B(x, z, c_2)}; \quad (2)$$

$$z = f(x, y, c_3) \pm \sqrt{B(x, y, c_3)}, \quad (3)$$

де $f(y, z, c_1)$, $f(x, z, c_2)$, $f(x, y, c_3)$ – функції, що характеризують деформації стиску в перерізах ХОУ, ХОZ, YOZ, що відбуваються в процесі тертя і зношування вставки струмоприймача при взаємодії з контактним проводом; c_1 , c_2 , c_3 – константи, які залежать від форми робочої поверхні вставки струмоприймача; $\pm \sqrt{B(y, z, c_1)}$, $\pm \sqrt{B(x, z, c_2)}$, $\pm \sqrt{B(x, y, c_3)}$ – девіаторні частини тензора деформацій, що відповідають за видозміну форми вставки струмоприймача при взаємодії з контактним проводом; $B(y, z, c_1)$, $B(x, z, c_2)$, $B(x, y, c_3)$ – функції переміщення точок робочої поверхні вставки струмоприймача при русі міського електротранспорту у напрямках зазначених осей координат.

Зауважимо, що з рівнянь (1)-(3) виключено фактор часу і вони характеризують траєкторії руху точок поверхні вставок струмоприймача. Для визначення зміщення будь-якої точки з вихідної поверхні на поверхні, які утворюються в результаті процесу тертя і зношування необхідно провести розклад цих рівнянь в ряд Тейлора [3] і обмежитися похідними першого порядку, оскільки похідні вищого порядку не здійснюють суттєвий вплив на напружено-деформований стан вставок струмоприймача.

У роботі [7] деформацію матеріалу в будь-якій точці вставки струмоприймача можна визначити подовженням чи скорочуванням будь-якого лінійного елемента поверхні, що проходить через цю точку. Координати елемента по відношенню до досліджуваної точки дорівнюють:

$$dx = \rho l; \quad dy = \rho m; \quad dz = \rho n, \quad (4)$$

де ρ – довжина елемента; l , m , n – спрямовуючі косинуси, що відображують умови навантаження при протіканні відповідних процесів тертя.

Зміщення u_x , u_y , u_z елемента вздовж осей координат ОХ, ОУ, ОZ в процесі деформації можна визначити за виразами:

$$u_x = \frac{\partial A}{\partial y} dy + \frac{\partial A}{\partial z} dz + \frac{\int f(y, z)}{\sqrt{f(y, z, c_1)}} = \frac{\partial A}{\partial y} \rho m + \frac{\partial A}{\partial z} \rho n + \frac{\int f(y, z)}{\sqrt{f(y, z, c_1)}}; \quad (5)$$

$$u_y = \frac{\partial A}{\partial x} dx + \frac{\partial A}{\partial z} dz + \frac{\int f(x, z)}{\sqrt{f(x, z, c_2)}} = \frac{\partial A}{\partial x} \rho l + \frac{\partial A}{\partial z} \rho n + \frac{\int f(x, z)}{\sqrt{f(x, z, c_2)}}; \quad (6)$$

$$u_z = \frac{\partial A}{\partial x} dx + \frac{\partial A}{\partial y} dy + \frac{\int f(x, y)}{\sqrt{f(x, y, c_3)}} = \frac{\partial A}{\partial x} \rho l + \frac{\partial A}{\partial y} \rho m + \frac{\int f(x, y)}{\sqrt{f(x, y, c_3)}}. \quad (7)$$

У процесі зношування довжина елемента мікрорельєфу змінюється згідно виразу:

$$\rho_1 = \rho \left(1 + l^2 \frac{\partial u_x}{\partial x} + m^2 \frac{\partial u_y}{\partial y} + n^2 \frac{\partial u_z}{\partial z} + lm \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) + nl \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) + mn \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right). \quad (8)$$

Відносна деформація мікрорельєфу, що спостерігається в процесі тертя відносно осей координат становить:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial x} = \varepsilon_{xx}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = \varepsilon_{yy}; \quad \frac{\partial u_z}{\partial z} = \varepsilon_{zz}; \\ \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} = \varepsilon_{xy}; \quad \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} = \varepsilon_{xz}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} = \varepsilon_{yz}. \quad (10)$$

Для ізотропного тіла, згідно закону Гука, залежність компонентів тензора деформацій і напружень в загальному випадку має вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_x = \lambda \Theta + 2\mu \varepsilon_x; \quad \sigma_y = \lambda \Theta + 2\mu \varepsilon_y; \\ \sigma_z = \lambda \Theta + 2\mu \varepsilon_z; \\ \tau_{yz} = \mu \gamma_{yz}; \quad \tau_{zx} = \mu \gamma_{zx}; \\ \tau_{xy} = \mu \gamma_{xy}, \end{aligned} \quad (11)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – нормальні напруження вздовж осей координат; λ, μ – пружні сталі Ламе;

$$\Theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z, \quad \Theta = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}; \quad \tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{yz} -$$

дотичні напруження; $\gamma_{yz} = \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z},$

$$\gamma_{zx} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x}, \quad \gamma_{yx} = \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y}.$$

Якщо рівняння системи (11) підставити у рівняння рівноваги, запропоноване в роботі [7], то отримаємо:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + x = 0; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + y = 0; \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + z = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Після деяких перетворень і спрощень системи рівнянь (12) маємо систему диференціальних рівнянь Ламе:

$$\begin{cases} (\lambda + \mu) \left(\frac{\partial \Theta}{\partial x} \right) + \mu \nabla^2 u_x + x = 0; \\ (\lambda + \mu) \left(\frac{\partial \Theta}{\partial y} \right) + \mu \nabla^2 u_y + y = 0; \\ (\lambda + \mu) \left(\frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + \mu \nabla^2 u_z + z = 0, \end{cases} \quad (13)$$

де $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа.

Висновки

У результаті проведених теоретичних досліджень отримано модель для опису зміни форми ковзних контактів у процесі експлуатації міського електротранспорту. Розв'язуючи систему диференціальних рівнянь (13) для визначених початкових умов, та враховуючи геометрію вихідного стану вставки струмоприймача, можна знайти зміщення u_x, u_y, u_z . Знаючи їх величину можна визначити утворений переріз вставки струмоприймача при відповідному пробігу міського електротранспорту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Малозёмов, Б. В. Анализ и повышение надёжности транспортных средств электрического транспорта // Вестник Красноярского гос. техн. ун-та. – Красноярск : Изд-во ИПЦ КГТУ, Транспорт, 2004. – Вып. 34. – С. 206-217.
2. Максимов А. Н. Городской электротранспорт: Троллейбус. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
3. Тимошенко С. П. Курс теории упругости. – К.: Наукова думка, 1972. – 578 с.
4. Триботехнология : словарь-справочник / С. Н. Соловьев, Л. П. Клименко, С. Ж. Боду, Е. В. Трофимова; под общ. ред. С. Н. Соловьева. – Николаев : Изд-во НГГУ им. П. Могилы, 2003. – 384 с.

5. Физическая мезомеханика и компьютерное моделирование материалов / под ред. В. Е. Панина. – Новосибирск : Наука, 1995. – Т. 1. – 298 с. – Т. 2. – 320 с.

6. Харламов, Ю. А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела. // Ю. А. Харламов, Н. А. Будагьянц– Луганск : ВУГУ, 2000. – 624 с.

7. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский ; под ред. Д. Г. Громаковского. – Самара, 2000. – 268 с.

Надійшла до редколегії 30.08.2014.

Прийнята до друку 07.0; .2012.

В. А. КОВАЛЬ

ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ СКОЛЬЗЯЩИХ КОНТАКТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В итоге проведенных теоретических исследований получена модель для описания изменения формы скользящих контактов в процессе эксплуатации городского электротранспорта, в виде системы дифференциальных уравнений для определенных начальных условий. Решив эту систему, с учетом геометрии исходного состояния вставки токоприёмника, можно получить величину смещения, с помощью которой можно определить образованное сечение вставки токоприёмника при соответствующем пробеге городского электротранспорта.

Ключевые слова: скользящие контакты, городской электротранспорт, вставки токоприёмника, надежность

V. A. KOVAL

CHANGE OF FORM OF SLIDING CONTACTS IN THE PROCESS OF EXPLOITATION OF ELECTRIC CITY TRANSPORT

The in the total conducted theoretical researches a model for description of change of form of sliding contacts in the process of exploitation of electric city transport is got, as a system of differential equalizations for definite initial conditions. Deciding this system, taking into account geometry of the initial state of insertion of current receiver, it is possible to get relocation bias by which it is possible to define the well-educated section of insertion of current receiver at the proper run of electric city transport.

Keywords: sliding contacts, electric city transport, insertions of currentreceiver, reliability