УДК 629.423:336

ДО ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, В. С. Костенко

К ВОПРОСУ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, В. С. Костенко

TO QUESTION OF TECHNICAL OPERATION AND MAINTENANCE TOKOPRYEMNYKOV SKOROSTNOHO PODVYZHNOHO PROOF

Dr. Sc. Sciences A. Krasheninin, V. S. Kostenko

У даній статті розглядається аналіз статистичного навантаження та динамічних характеристик струмоприймачів рухомого складу. Запропоновано визначити аеродинамічну підйомну силу струмоприймача, відносну зміну натискання на контактний провід, максимальний розмах (подвійну амплітуду) вертикальних пересувань полоза, коефіцієнт відриву струмоприймача. Розглянуто закордонний досвід роботи і взаємодії контактного проводу та струмоприймачів швидкісного транспорту. Запропоновано зменшити приведену масу струмоприймачів, встановити гасники коливань (демпфери) на струмоприймачі та контактну підвіску.

***Ключові слова**: струмоприймач, контактний провід, натискання, динамічна і статична характеристика.*

В данной статье рассматривается анализ статистической нагрузки и динамических характеристик токоприемников подвижного состава. Предложено определить аэродинамическую подъемную силу токоприемника, относительное изменение нажатия на контактный провод, максимальный размах (двойную амплитуду) вертикальных перемещений полоза, коэффициент отрыва токоприемника. Рассмотрены зарубежный опыт работы и взаимодействия контактного провода и токоприемников скоростного транспорта. Предложено уменьшить приведенную массу токоприемников, установить гасители колебаний (демпферы) на токоприемники и контактную подвеску.

***Ключевые слова:** токоприемник, контактный провод, надавливание, динамическая и статическая характеристика.*

This article discusses the analysis of statistical and dynamic characteristics of load current collectors of the rolling stock. It is proposed to determine the aerodynamic lift of the pantograph, the relative change in clicking on the contact wire, the maximum range (double amplitude) of vertical displacement of the runner, the separation factor of the current collector. Considered foreign experience and the interaction of the contact wire and the current collectors of high-speed transport. It is proposed to reduce the reduced weight of the pantographs, set the shock absorbers (dampers) at the pantographs and overhead catenary.

The dynamic component pressing contact should be as small as possible, because it provides not only increase the speed, at which the separation begins.

Increasing the speed of has caused some difficulty in choosing the material contact elements runners, due to sparking and increased contact heating elements because of the length of high currents and friction in contact kovzayuchemu

Keywords: *current, contact wire, pressing, dynamic and static characteristics.*

Вступ. Надійне та економічне струмознімання – найважливіша вимога електрифікованої дільниці. Під цим визначенням слід розуміти надійність контактної мережі і струмоприймачів при їх взаємодії, а також малий знос контактного проводу.

Якість струмознімання визначається двома основними факторами: умовами механічної взаємодії струмоприймача, що рухається, із контактною підвіскою та вибором матеріалів контактної підвіски контактуючих частин. На механіку взаємодії з боку пристроїв контактної мережі впливають переріз, провисання проводу ланцюгової підвіски, відстань між струнами, параметри фіксаторів і таке інше, а з боку електричного рухомого складу – величина статичного натискання, а також приведена маса струмоприймача [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження надійності конструкції, експлуатації, післяремонтного пробігу, безвідмовності роботи проводяться провідними фахівцями: Е. Д. Тартаковським, В. І. Морозом, О. С. Крашенінінім, А. Ф. Агуловим, Yong Hyeon Chob, Min-Gu Hanc Seung-Hwan Changc, Michał Głowacz, Artur Rojek Marek Kaniewski та іншими вченими, якими розроблено теоретичні основи побудови, удосконалення конструкції, сезонної експлуатації, питання надійного контакту, динамічні характеристики, новітні матеріали та інші. Питання експлуатації і технічного обслуговування струмоприймачів швидкісного рухомого складу перебувають у процесі дослідження [6, 7].

Основний матеріал статті. Контактне натискання струмоприймача на контактний провід складається з трьох складових: статичного натискання струмоприймача, інерційної та аеродинамічної підйомних сил.

Статичне натискання створюється підйомними пружинами. На його величину впливають сили тертя у шарнірах головних валів, між трубами верхніх і нижніх рам, а також тертя у верхньому шарнірі верхніх рам, де встановлено пружинні каретки, які підресорюють полози. При русі полоза вниз (при зниженні контактного проводу) статичне натискання через тертя виявляється більшим, ніж при русі вгору. Причому різниця величин статичного натискання дорівнює подвоєній сумі сил тертя.

Враховуючи, що тертя може вплинути на якість струмознімання, статичну характеристику (залежність натискання від висоти полоза) знімають при русі полоза вгору та вниз і зображують двома кривими: крива, що відповідає руху полоза вниз, являє собою пасивне натискання, крива, що відповідає руху полоза вгору, є активне натискання. Сили натискання регулюють, змінюючи натискання підйомних пружин або важелями головних валів струмоприймача (рисунок).

Інерційна сила виникає в місці контакту струмоприймача з проводом і залежить від приведеної маси рухомих частин струмоприймача (полоза, кареток, верхніх рухомих рам) і від вертикального прискорення цієї маси. Її величина пропорційна швидкості руху електрорухомого складу і залежить від характеру зміни еластичності контактної підвіски у прогоні [2, 3, 4].

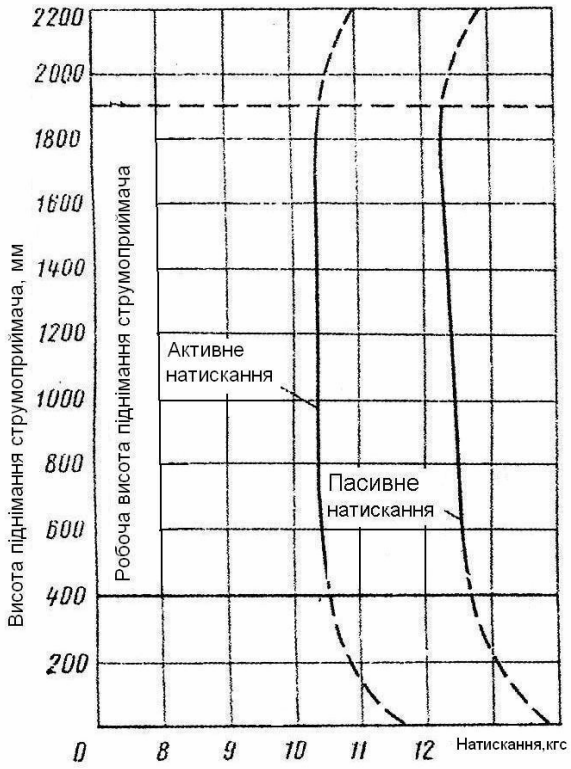

Рис. Статична характеристика струмоприймача

При проведенні дослідів у ЦНДІ МПС в якості струмознімання прийнята відносна зміна натискання струмоприймача n, яка чисельно дорівнює найбільшій із таких величин:

$$n' = \frac{P_{КМАКС} - (P_{СТ} + P_{УМАКС})}{P_{СТ} + P_{У\,МАКС}}, \qquad (1)$$

$$n'' = \frac{P_{К\,МІН} - (P_{СТ} + P_{У\,МАКС})}{P_{СТ} + P_{У\,МАКС}}, \qquad (2)$$

У якості другого критерію прийняли коефіцієнт нерівномірності контактного натискання *kн*, що являє собою відношення суми максимальних величин контактних натискань, що мають загальну тривалість 50 % від часу проходу струмоприймачем прогону, до суми мінімальних величин контактних натискань, що мають таку саму загальну тривалість:

$$K_н = \frac{\sum P_{К\,МАКС}}{\sum P_{К\,МІН}}. \qquad (3)$$

Для визначення цього коефіцієнта експериментальні графіки зміни контактного натискання у прогонах перестроюють у графіки розподілу натискання.

Третім критерієм якості струмознімання є максимальний розмах (подвійна амплітуда) вертикальних пересувань полоза струмоприймача 2А у прогоні:

$$2А = Н_{макс} - Н_{мін}, \qquad (4)$$

де $Н_{макс}$ та $Н_{мін}$ – відповідно максимальна та мінімальна висота полоза над рівнем головок рейок у прогоні.

Більш стабільному контактному натисканню відповідає менший розмах пересування полоза.

Четвертий критерій – коефіцієнт відриву струмоприймача $k_{від}$:

$$k_{від} = \frac{\sum T_{ВІД}}{T} 100 \%. \quad (5)$$

Високі швидкості суттєво впливають на діапазон зміни контактного натискання через квадратичну залежність від швидкості руху як аеродинамічної, так і динамічної її складових.

Дійсно, аеродинамічна підйомна сила струмоприймача буде дорівнювати

$$P_y = kav2, \quad (6)$$

Якщо вважати траєкторію полоза змінною за синусоїдальним законом (y = A sin w t), то вертикальна швидкість переміщення полозу струмоприймача

$$vm = dy/dt = w\,A\,cos\,wt, \quad (7)$$

а прискорення

$$wm = \frac{d^2y}{dt^2} = -w^2 A \sin wt = -w^2 y. \quad (8)$$

Залежно від знака прискорення динамічна складова може бути або позитивною, або негативною, тобто викликати збільшення контактного натискання або зменшення його. При певних швидкостях руху ЕРС контактне натискання в моменти негативних динамічних складових може дорівнювати нулю, тобто контакт між полозом і проводом може порушитися.

Динамічна складова контактного натискання повинна бути якомога меншою, оскільки це забезпечує не тільки збільшення швидкості руху, при якій починаються відриви (оскільки збільшується контактне натискання від'ємних $P_{дин}$), але і зменшення відтискань контактного проводу та зносу при високих швидкостях (оскільки зменшуються найбільші контактні натискання при додатних $P_{дин}$).

У якості величин, які можна нормувати відносно контактного натискання, використовуємо середнє значення за період досліджень:

$$M(P) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i, \quad (9)$$

де n – середня кількість вимірювань у масиві значень по випробуваннях струмоприймачів.

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma[P] = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}[P_i - M(P)]^2}. \quad (10)$$

При цьому середнє значення сили контактного натиску використовується для автоматичного регулювання струмоприймача, а середньоквадратичне відхилення для прийняття заходів для обмеження швидкості струмознімання.

Підйом струмоприймача виконується за умови

$$\cos\alpha_0 F_n l_{ll} = (F_\eta - P_\eta(t)\cdot S_n) l_{ll} \cos(\psi - \alpha_0). \quad (11)$$

Однак дослідження англійських та італійських фахівців, а також останні дослідження, які проводилися у Франції, показали, що це справедливо тільки для умов руху ЕРС зі швидкостями до 170-200 км/год [5]. При більш високих швидкостях траєкторія полоза навіть за наявності позитивної стріли провисання проводу в підвісці з непостійною еластичністю не залишається прямолінійною, оскільки точка найбільшого відтискання контактного проводу, що зміщується зі

зростанням швидкості з середини прогону до опори, яка слідує по ходу, віддаляється від середини прогону на значну відстань. У результаті початковий провис контактного проводу не тільки не зменшить розмах вертикальних коливань полоза у прогоні, але й збільшить його, і тривалість порушень контакту зросте. А це означає, що для умов руху зі швидкостями вище 170 км/год контактні підвіски повинні бути обов'язково рівноеластичними, тобто мати $k_{ел} = 1$.

В умовах моторвагонної тяги, коли на контактну підвіску одночасно впливає декілька струмоприймачів поїзда, розташованих на значній відстані один від одного, необхідно вживати заходи, зменшуючи взаємний вплив струмоприймачів, наприклад збільшити відстань між ними. При цьому слід виключити той варіант, при якому відстань між струмоприймачами несуттєво відрізняється від довжини хвилі вільних коливань контактної підвіски через синфазність збудження амплітуди вертикальних коливань полоза можуть виявитися дуже великими. Слід також зменшити приведену масу струмоприймачів, встановити гасники коливань (демпфери) на струмоприймачі та контактну підвіску, тобто штучно збільшити внутрішнє тертя в коливальній системі струмоприймач – контактна підвіска.

Результати досліджень і зарубіжний дослід дозволяють рекомендувати допустимі для різних умов значення приведеної маси струмоприймача, наведені в таблиці.

Таблиця

Допустимі приведені маси струмоприймачів для різних умов роботи

Струмоприймач	Рід струму	Найбільша швидкість руху, км/год	Найбільша допустима зведена маса за умови контактної підвіски	
			компенсованої	напівкомпенсованої
Швидкісний (до 200 км/год)	постійний			
- електропоїзди		200	35	26
- електровози		200	37	28
Швидкісний (до 200 км/год)	змінний	200	31	22

Збільшення швидкості руху створює певні труднощі щодо вибору матеріалу контактних елементів полоза, що пояснюється більшим іскрінням (не дивлячись на вжиті заходи зі стабілізації контактного натискання) і збільшенням нагріву контактних елементів через тривалість великих струмів і тертя в ковзному контакті [3, 4, 5, 6, 8, 9].

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток в данному напрямі. Під час виконання досліджень визначено статичну характеристику струмоприймача моторвагонного електричного рухомого складу, опрацьовано критерії оцінювання інерційної сили, досліджено умови роботи струмоприймачів високошвидкісного рухомого складу, проаналізовано умови роботи контактної підвіски та запропоновано деякі заходи щодо її утримання, що дало змогу запропонувати оптимізовану масу та конструкцію пантографів.

Список використаних джерел

1. Аулін, В. В. Механічна взаємодія контактної підвіски і струмоприймачів електрорухомого складу залізниць [Текст] / В.В. Аулін, Д.М. Барановський // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)". – Хмельницький, 2005. – №1. – С. 55-58.

2. Берент, В. Я. Перспективы улучшения работы сильноточного скользящего контакта «контактный провод – токосъемный элемент полоза токоприемника [Текст] / В.Я. Берент // Железные дороги мира. – 2002. – № 10.

3. Аулін, В. В. Підвищення надійності контактного проводу [Текст] / В.В. Аулін, Д.М. Барановський // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)". – Хмельницький, 2006. – №3. – С. 42-45.

4. Барановський, Д. М. Теоретичні передумови підвищення надійності системи "контактна підвіска – струмоприймач" зменшенням інтенсивності зношування її елементів після лазерного модифікування [Текст] / Д.М. Барановський // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)". – Хмельницький, 2007. – №2. – С. 34-38.

5. Vesely G. C. Modelling and expérimentation of pantograph dynamic / Massachusetts Institute of technology, 1983. 111 p.

6. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822316306596S-W. Jeon, Y. H. Cho, M-G. Han, S-H. Chang. Design of carbon/epoxy–aluminum hybrid upper arm of the pantograph of high-speed trains using adhesive bonding technique // Composite Structures. – 2016. – Vol. 152. – P. 538 – 545.

7. M. Głowacz, M. Kaniewski, A. Rojek. Power Supply System Implemented on Polish High Speed Lines and Pantograph-OCL Interaction Quality Assessment Based on Tests Performed on PKP Network // Transportation Research Procedia. 2016 – Vol. 14. – P. 1967 – 1976.

8. Advanced Powder TechnologyInternational Journal of Science and Technology of Powder and Particulate Materials. No. 5, Kyoto Bldg., 181 Kitamachi, Karasuma-dori, Rokujo-agaru, Shimogyo-ku, Kyoto 600-8176, Japan.

9. 2016 The Society of Powder Technology Japan. Published by Elsevier B.V. and The Society of Powder Technology Japan. All rights reserved.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-19-99.
Костенко Володимир Сергійович, машиніст електровозу, Локомотивне депо «Харків - Головне».
Тел. 066-809-50-58.

Krasheninin O.S, Ph.D., professor of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport.Tel. 057-730-19-99 (21-24).
Vladimir Kostenko machinist of electric locomotive depots "Kharkiv - Home". Tel. 066-809-50-58.

Стаття прийнята 30.09.2016 р.