



УДК: 629.423.33

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ТОКОСЪЕМНЫХ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ С ПОМОЩЬЮ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Абдурахманов Баходир Ботир угли,
специалист 1-категории,
E-mail: b.abdurahmanov@mininnovation.uz;

Мирсаитов Мирзиёд Мирозодович,
начальник отдела развития транспортной инфраструктуры,
E-mail: m.mirsaitov@mininnovation.uz,

Министерство инновационного развития Республики Узбекистан;

Викулов Илья Павлович,
доцент кафедры “Электрическая тяга”,
ФГБОУ ВО “Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора Александра I”,
E-mail: vikulov@pgups.ru

***Аннотация.** В работе приведен способ определения износа токосъемных вставок токоприемников грузовых электровозов с помощью акселерометра с целью повышения надежности токоприемников, а также сокращения времени их обслуживания. В виду большого количества отказов, происходящих при эксплуатации токоприемников, остро встает необходимость определения состояния токосъемных вставок. Представленная система диагностики позволит оценивать их износ. Приведены диагностические параметры определения состояния токосъемных вставок, а также способ определения видов износов при различных значениях диагностических параметров. Способ определения состояния токосъемных вставок основан на анализе вибрационных перемещений токосъемной вставки. При эксплуатации токоприемника происходит износ токосъемной вставки, что приводит к уменьшению ее массы. При изменении массы изменяется и колебательное ускорение. Изменение колебательного ускорения оценивается с помощью акселерометра. Акселерометры можно легко закрепить на токоприемнике, что позволит им не влиять на работу токоприемников из-за своего маленького размера и массы. Достоверность научных положений и результатов обоснована теоретически и подтверждена экспериментальными исследованиями. Все теоретические и экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях.*

***Ключевые слова:** токоприемник, токосъемная вставка, отказ, надежность, износ.*

AKSELEROMETR YORDAMIDA TOK QABUL QILGICHNING TOK UZATUVCHI KIRGIZMA HOLATINI ANIQLASH

Abduraxmanov Baxodir Botir o'g'li,
1-toifali mutaxassis;

Mirsaitov Mirziyod Mirozodovich,
Transport infratuzilmasini rivojlantirish bo'limi boshlig'i,
Innovatsion rivojlanish vazirligi;



Vikulov Ilya Pavlovich,

Imperator Aleksandr I Sankt-Peterburg davlat transport universiteti
“Elektr tortish kuchi” kafedrası dotsenti

***Annotatsiya.** Maqolada tok qabul qilgichlarning ishonchliligini oshirish, shuningdek, ularga xizmat ko‘rsatish vaqtini qisqartirish maqsadida akselerometr yordamida yuk elektrovozlari tok qabul qilgich tok uzatuvchi kirgizmalarini aniqlash usuli keltirilgan. Tok uzatuvchi kirgizmalarining holatini aniqlash uchun diagnostik parametrlar hamda diagnostik parametrlarning turli qiymatlarida tok uzatuvchi kirgizma yeyilish turlarini aniqlash usuli keltirilgan. Tok uzatuvchi kirgizmalarining holatini aniqlash usuli kirgizmalarining tebranish harakatlariga asoslangan. Tok qabul qilgich ishlashi paytida tok uzatuvchi kirgizma yeyilishi sodir bo‘ladi va bu kirgizma massasi pasayishiga olib keladi. Massa o‘zgarganda, kirgizmaning tebranish tezligi o‘zgaradi. Vibratsiyali tezlanishning o‘zgarishi akselerometr yordamida baholanadi. Akselerometrlarni tok qabul qilgichga osongina o‘rnatish mumkin. Ular kichik o‘lchamlari va vazni tufayli tok qabul qilgichlarning ishlashiga ta’sir qilmaydi. Ilmiy bayonotlar va natijalarning ishonchliligi nazariy jihatdan asoslandi hamda eksperimental tadqiqotlar bilan tasdiqlandi. Barcha nazariy va eksperimental tadqiqotlar laboratoriya sharoitida o‘tkazildi.*

***Kalit so‘zlar:** tok qabul qilgich, tok uzatuvchi kirgizma, buzilish, ishonchlik, yeyilish.*

DETERMINATION OF THE STATE OF CURRENT COLLECTOR STRIPS OF PANTOGRAPH USING AN ACCELEROMETER

Abdurakhmanov Bakhodir,

Ministry of Innovative Development
First Category Specialist;

Mirsaitov Mirziyod Mirozodovich,

Ministry of Innovative Development,
Head of the Transport Infrastructure Development department;

Ilya Vikulov Pavlovich,

Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University,
Associate Professor of Electric Traction Department

***Abstract.** The work describes a method for determining the current collector strips of pantograph electric locomotive current collectors using an accelerometer to increase the reliability of current collectors and reduce the time for their operation. In view of the large number of failures that occur during the operation of pantographs, there is an urgent need to determine the state of the contact strips. The presented diagnostic system will allow assessing the wear of the contact strips. The article provides diagnostic parameters for determining the state of current collector strips, as well as a method for determining the types of wear of a current collector strips for various values of diagnostic parameters. The method for determining the state of collector strips is based on vibration movements of the collector strips. During operation of the current collector, wear of the collector strips occurs, which leads to a decrease in the mass of the collector strips. The vibrational acceleration of the collector strips changes according to the mass change, The change in vibrational acceleration is estimated using an accelerometer. Accelerometers can be easily mounted on the pantograph, and they will not affect the operation of the pantographs due to their small size and weight. The reliability of scientific statements and results is justified theoretically*



and confirmed by experimental studies. All theoretical and experimental studies were carried out in laboratory conditions.

Keywords: pantograph, contact strips, failure, reliability, wear.

Введение

Процесс передачи электрической энергии от тяговой подстанции к электрооборудованию электроподвижного состава (ЭПС) осуществляется посредством контактной сети и токоприемника. Для решения задачи качественного токосъема становится необходимым изучение процессов при взаимодействии элементов системы токоприемник – контактная сеть. Ввиду необходимости учета большого количества факторов, влияющих на качество токосъема в реальном времени, моделирование взаимодействия системы “токоприемник – контактная сеть”

является одним из рациональных решений поставленной задачи.

На долю токоприемников приходится 16 % всех отказов электрических аппаратов электропоездов. В свою очередь на долю токосъемных вставок приходится 31 % всех порч токоприемника, что позволяет характеризовать токосъемную вставку, как одну из наиболее уязвимых элементов, надёжность которой является определяющим фактором надежности локомотива в целом [1, стр. 13].

Наиболее характерные неисправности токоприемника, приводящим к его отказу приведены на рис. 1.

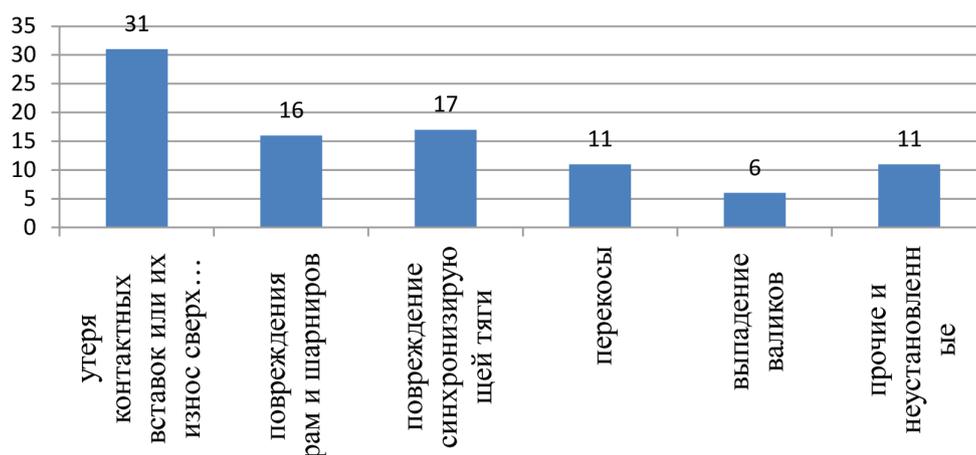


Рис. 1. Основные неисправности токоприемника

Как видно, самым уязвимым элементом токоприемника является токосъемная вставка (ТВ), повышение надежности которой направлено на уменьшение отказов токоприемника в целом. Основной причиной большого количества отказов ТВ связано с износом в результате взаимодействия с контактным проводом [6, с. 47]. На износ ТВ влияет большое количество факторов, которые зависят не только от качества эксплуатации, но и параметров токоприемника. Износ ТВ можно определить следующим образом (1):

$$I = \frac{dI}{dL} (P_1, P_2 \dots P_N), \quad (1)$$

где I – износ ТВ;

L – пробег ТВ;

$P_1, P_2 \dots P_N$ – факторы, влияющие на износ.

Испытания токоприемников с целью определения износа токосъемных вставок в реальных условиях является сложной задачей, по причине использования подвижного состава на участках эксплуатации при определенных режимах движения и погод-



ных условиях, а также различном состоянии контактной сети.

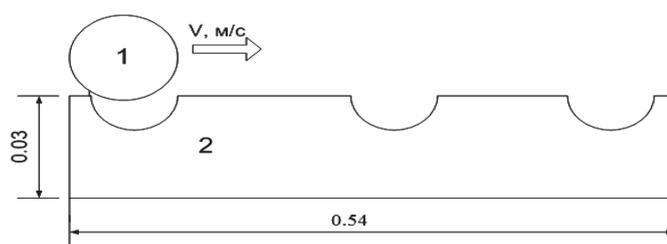
Материалы и методы

С целью проведения эксперимента на базе Санкт-Петербургского техникума железнодорожного транспорта для оценки воз-

можного применения в качестве диагностического параметра колебательного ускорения токоприемника был разработан специальный экспериментальный стенд, общий вид которого представлен на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Схема экспериментального стенда: а – общий вид; б – схема взаимодействия контактной вставки и подвижной балки: 1 – балка; 2 – контактная вставка со ступенчатым износом

На экспериментальном стенде были проведены нагрузочные испытания токоприемника ТЛ-13У с ползком, оборудованным угольными контактными вставками [2, с. 9].

Известен метод оценки ступенчатого износа токосъемной вставки с помощью акселерометра, закрепленного на контактном проводе. Одним из основных недостатков такого измерения является невозможность отслеживания состояния токосъемных вставок на всем протяжении участка эксплуатации ЭПС.

Поэтому авторами данной статьи предложена методика оценки состояния токосъемных вставок с помощью акселерометра, установленного на ползке токоприемника [3, с. 13].

Результаты исследования

Экспериментальная установка включает в себя электропривод, балку, токоприемник ТЛ – 13У и диагностическое устройство. Установка работает следующим образом: электропривод через вращающийся диск приводит в движение балку, которая другим

концом закреплена к неподвижному блоку. Балка перемещается по всей длине токосъемной вставки, закрепленной на ползке неподвижного токоприемника, тем самым имитируя движение контактного провода по ползку токоприемника.

Принцип работы диагностического устройства. В результате изнашивания уменьшается масса токосъемной вставки. Следовательно, уменьшается масса токоприемника, что вызывает увеличение колебательного ускорения токоприемника [4, с. 727]. Колебательное ускорение оценивается с помощью датчика – акселерометра, на выходе которого формируется электрический сигнал, пропорциональный величине ускорения токоприемника. Сигнал с выхода акселерометра поступает на вход программно-аппаратного комплекса, который обрабатывает сигнал по предложенному авторами алгоритму.

Акселерометр – это измерительный прибор, позволяющий определить проекцию кажущегося ускорения. В простейшем исполнении он представляет собой твердое тело



небольшой массы, закрепленное на упругом подвесе. При его отклонении от первоначального положения на упругом подвесе можно определить направление изменения положения, а также величину ускорения.

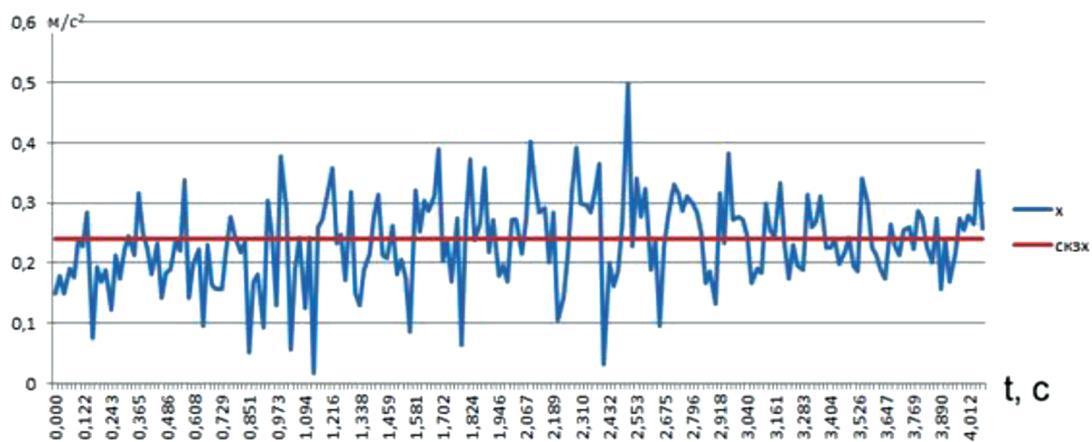
Акселерометры по числу измеряемых координат могут быть одно-, двух- и трехосными, а по условиям применения подразделяются на: ударные, общего применения, для модальных испытаний, прецизионные, температурные, вакуумные. Учитывая характер использования акселерометра в диагностических средствах и условия эксплуатации ТВ, целесообразно рекомендовать к использованию высокотемпературные и ударные виды акселерометров [5, с. 175].

В процессе исследования была использована угольная вставка для токоприемника ТЛ–13У с различными видами износа.

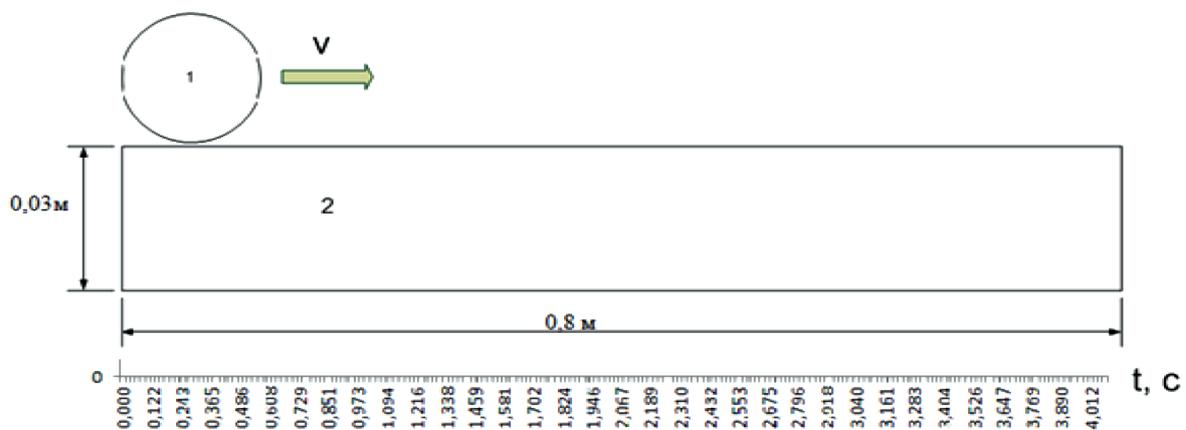
При износе контактный провод изменяет свою форму. Как правило, круглая нижняя часть контактного провода теряет свою форму, становясь плоскостью.

В идеале износ токосъемной вставки связан с равномерным уменьшением их толщины, однако, как показывает опыт, преобладает так называемый ступенчатый износ, вызванный локальной проточкой ТВ контактным проводом [6, с. 239].

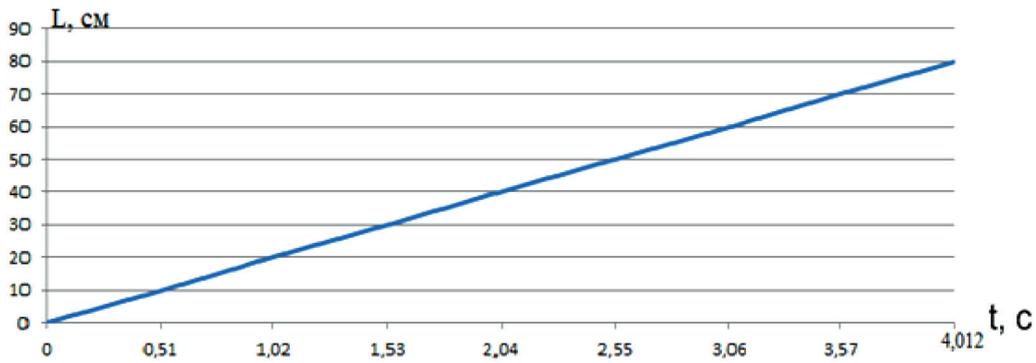
В ходе проделанной работы были сняты графики изменения колебательного ускорения токосъемных вставок во времени при различных видах износа (рис. 3–5).



а)

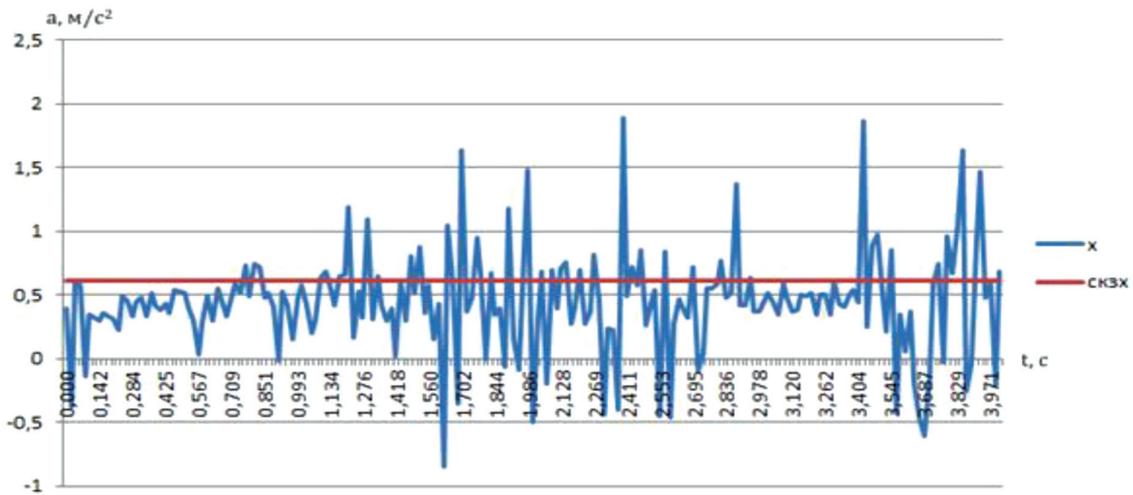


б)

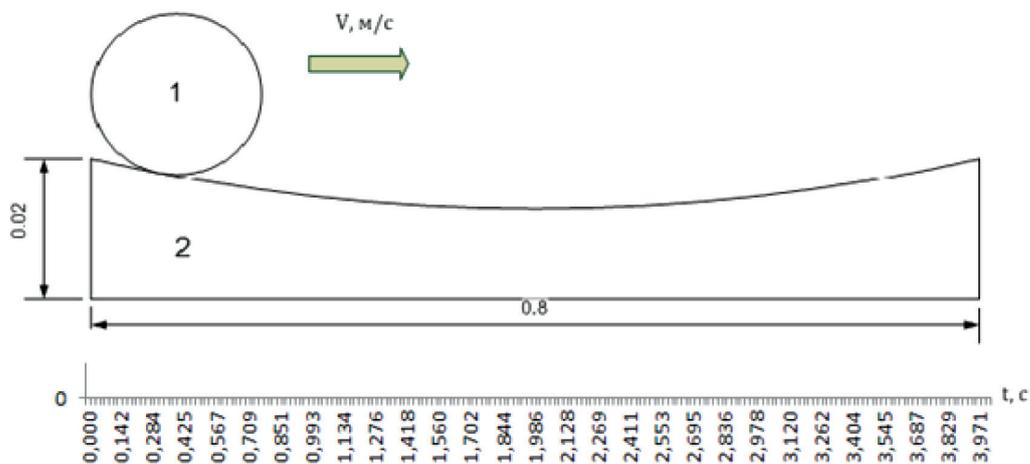


в)

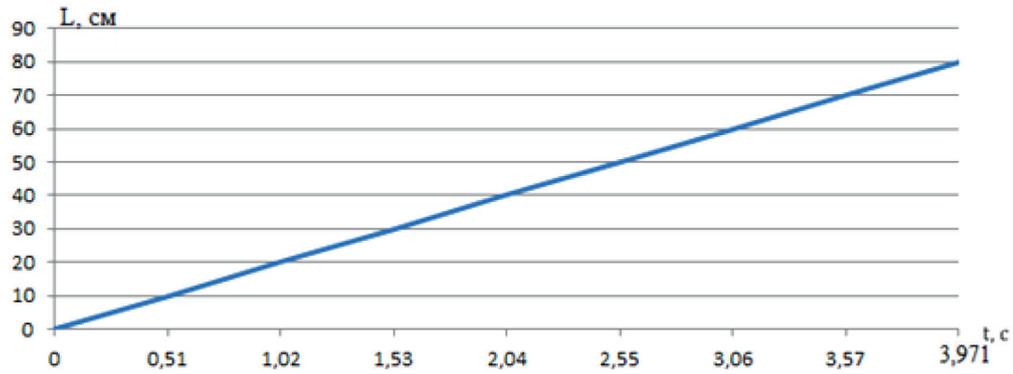
Рис. 3. Экспериментальные результаты при скорости подвижного состава $V=50$ км/ч:
а) график колебательного ускорения; б) модель целой вставки; в) перемещение контактного провода по токосъемной вставке



а)

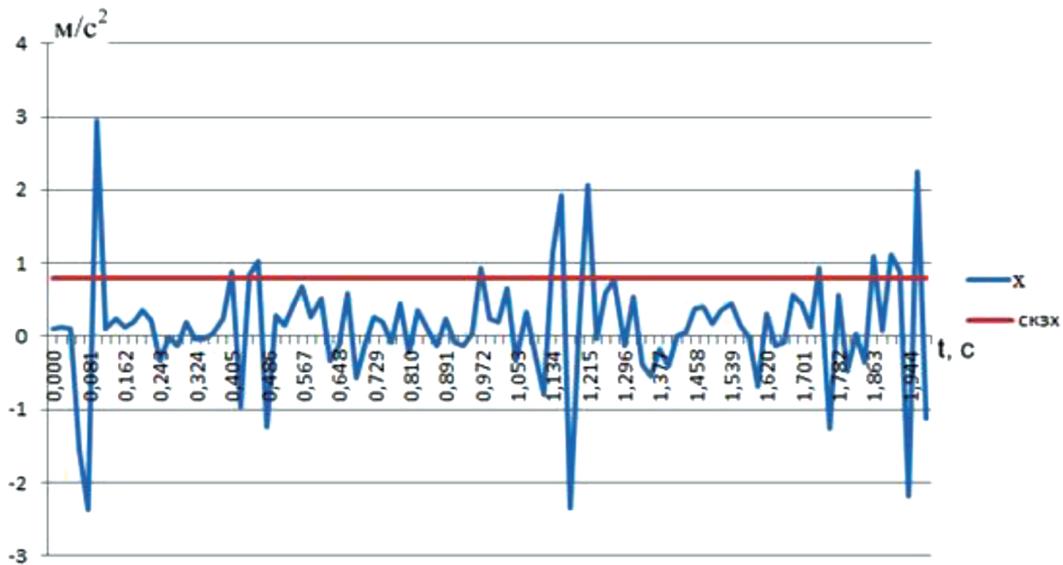


б)

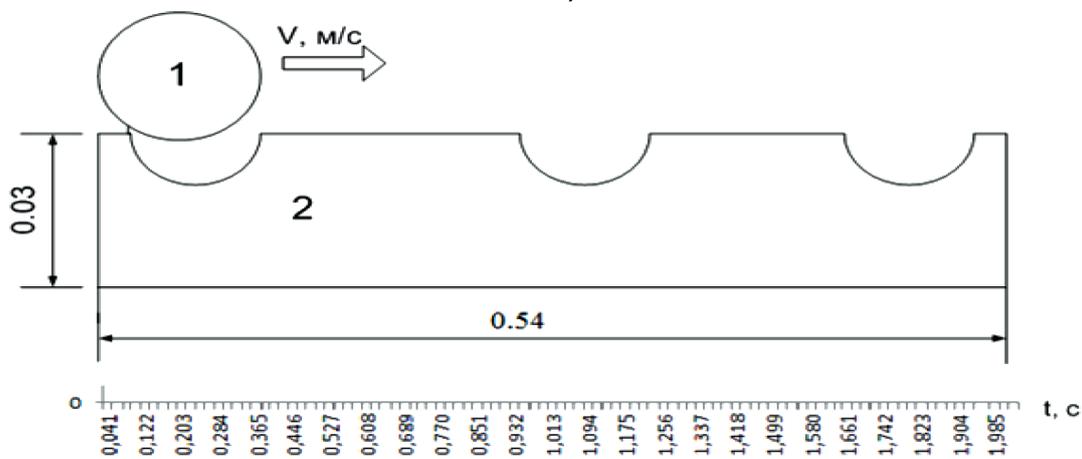


в)

Рис. 4. Экспериментальные результаты при скорости подвижного состава $V = 50$ км/ч: а) график колебательного ускорения; б) модель вставки с равномерным износом; в) перемещение контактного провода по токоёмной вставке



а)



б)

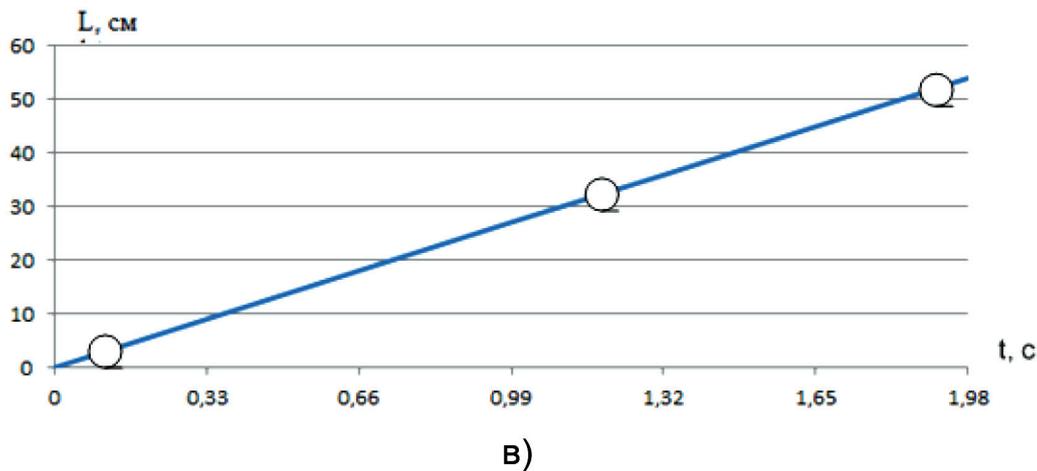


Рис. 5. Экспериментальные результаты при скорости подвижного состава $V = 50$ км/ч: а) график колебательного ускорения; б) модель вставки со ступенчатым износом; в) перемещение контактного провода по токосъемной вставке

Опираясь на опыт вибродиагностики подшипниковых узлов, можно сделать вывод, что по временной форме колебательного ускорения возможно оценить состояние токосъемной вставки по параметрам сигнала: среднеквадратическому значению (СКЗ) и амплитуде [7].

Вибрационная диагностика роторных узлов локомотивов основана на анализе ударных сил и сил трения, возникающих, например, при движении тела качения по беговой дорожке подшипника качения.

Ударные импульсы в этом случае возникают при попадании ролика в трещину или раковину на беговой дорожке, а изменение силы трения продуцируются дефектами смазки.

Общепринято судить о виде дефектов роторных узлов и степени их развития по величине виброускорений, возникающих в роторных узлах при их работе.

По СКЗ определяется общий уровень вибрации и может быть вычислен как:

$$\text{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_j x_j^2}, \quad (2)$$

где x_j – значение сигнала в j -ый момент времени;

n – число значений.

Измерение общего уровня и сравнение полученных уровней с эталонными позво-

ляет судить о текущем состоянии. Уровень вибрации выше нормального означает, что на токосъемной вставке имеются дефекты.

СКЗ для трех графиков составил 0,24; 0,61 и 0,79 соответственно.

Как видно СКЗ при равномерном износе вставки примерно на 30 % значительно отличается от СКЗ при целой (неизношенной) вставке, что позволяет нам судить о том, что при изменении массы токосъемной вставки, возможно оценить состояние токосъемных вставок.

Небольшие пики, полученные на рисунке 3а, свидетельствуют о наличии шероховатости (неровности) контактной вставки.

СКЗ при ступенчатом износе (примерно на 20 % изношено) превышает СКЗ при равномерном износе. Но если посмотреть на соответствующие графики, можно увидеть значительные скачки сигнала при ступенчатом износе в точке ямок, которые влияют на значение СКЗ. При ступенчатом износе значение СКЗ не может быть диагностическим параметром. Тогда амплитуда сигнала может дать ответ о состоянии токосъемных вставок.

По амплитуде вибрации определяется степень дефекта. Чем больше степень дефекта, тем больше вибрация, тем больше амплитуда сигнала.



Судя по полученным графикам, большие амплитудные скачки (табл.) наблюдаются на графике с равномерным и ступенчатым износом, когда вставка изнашивается с выемками по всей длине (рис. 4 и 5).

пенчатым износом, когда вставка изнашивается с выемками по всей длине (рис. 4 и 5).

Таблица

Диагностические параметры токосъемных вставок при различных видах износа

Виды износов вставок	Диагностические параметры	
	Ам, м/с ²	СКЗ, м/с ²
Неизношенная вставка	0,5	0,24
Равномерный износ	1,9	0,61
Со ступенчатым износом	2,95	0,79

Выводы

1. Выявлено, что недостатком известного способа оценки ступенчатого износа токосъемной вставки с помощью акселерометра, закрепленного на контактном проводе контактной сети, является невозможность непрерывного отслеживания состояния токосъемной вставки на всем протяжении участка эксплуатации ЭПС.

2. Рекомендовано для оценки состояния токосъемной вставки установить акселерометр на полозе токоприемника. При этом диагностическими параметрами являются

амплитуда и среднеквадратическое значение вибрационного сигнала.

3. Установлено, что по уровню среднеквадратического отклонения возможно оценить только равномерный износ, а появление пиков на графике означает наличие ступенчатого износа на токосъемной вставке.

4. Доказано, что временная форма сигнала дает только информацию о уже появившемся дефекте, а спектральная форма сигнала позволяет спрогнозировать дефект в будущем.

References

1. Smirnov V. A. Povishenie kachestva kontrolya texnicheskogo sostoyaniya tokopriemnikov elektricheskogo podvijnogo sostava magistral'nix jeleznix dorog. [Improving the quality of control of the technical condition of pantograph of electric rolling stock of main railways], dis. kand. tex. nauk: 05.22.07, V. A. Smirnov, Omsk: OmGUPS, 2007, 128 p.
2. Abduraxmanov B.B. Kontrol' sostoyaniya tokoprovodyashix vstavok elektrovozov VL80S [Monitoring the state of contact strips of VL80S electric locomotives]. B.B. Abduraxmanov, A.P. Zelenchenko. Transport: problemi, idei, perspektivi: sbornik trudov LXXVI Vserossiyskoy nauchno-texnicheskoy konferensii studentov, aspirantov i molodix uchenix. – SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2016, pp. 9-12.
3. Abduraxmanov B.B. Metod diagnostiki tokoprovodyashix vstavok tokopriemnikov elektrovozov [Method for diagnostics of contact strips of pantograph of electric locomotive]. B.B. Abduraxmanov, A.P. Zelenchenko. Transport: problemi, idei, perspektivi: sbornik trudov LXXVII Vserossiyskoy nauchno-texnicheskoy konferensii studentov, aspirantov i molodix uchenix. – SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2017, pp. 13-18.
4. Yang H. J. Effect of the Vibration on Friction and Wear Behavior between the Carbon Strip and Copper Contact Wire Pair. H.J. Yang, G.X. Chen, S.D. Zhang, W.H. Zhang, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part J: Journal of Engineering Tribology, 226, 2012. pp. 722-728.



5. Zelenchenko A.P. Opredelenie sostoyaniya tokoprovodyashix vstavok tokopriemnikov elektrovozov [Determination of the state of contact strips of electric locomotive pantograph]. A.P. Zelenchenko, B.B. Abduraxmanov. Prorivnie texnologii elektricheskogo transporta. Materiali devyatogo mejdunarodnogo simpoziuma “Eltrans-2017”, posvyashennogo 130-letiyu osnovaniya G.K. Merchingom elektrotexnicheskoy shkoli v Rossii 18-20 oktyabrya 2017 goda. – SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2019, pp. 171-176.

6. Usuda T. Method for detecting step-shaped wear on contact strips by measuring catenary vibration. T. Usuda, M. Ikeda, Y. Yamashita. Quarterly report of RTRI, 2011, vol. 52 issue 4 pages pp. 237-243.

7. Viyavlenie defektov podshipnikov kacheniya s pomosh'yu analiza vibrasii. [Identification of rolling bearing defects using vibration analysis] Daniel Lynn, Manager, Training, Computational Systems, Inc. (CSI) / Per.s angliyskogo I.R. Sheynyak; Pod red. V.A. Smirnova. [Elektronniy resurs] 24.01.05. Available at: http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml

8. Berent V.Ya. Svoystva tokos'ernix elementov polozov tokopriemnikov elektropodviynogo sostava i oblasti ix rasonal'nogo ispol'zovaniya [The properties of the contact strips of the skids of the pantograph of the electric rolling stock and the area of their rational use]. V. Ya. Berent, Texnologiya, 1998, no 3-4, pp. 32-41.

9. Efimov D.A. Sovershenstvovanie tokopriemnikov na osnove modelirovaniya ix vzaimodeystviya s kontaktnimi podveskami [Improvement of pantographs based on modeling their interaction with overhead catenaries]: dis. kand. tex. nauk: 05.22.07. D.A. Yefimov. – Yekaterinburg: UrGUPS, 2015, 162 p.

10. Li V.N. Omexanizmax razrusheniya ugol'nix vstavok tokopriemnikov [About the mechanisms of destruction of carbon strips of pantographs] / V.N. Li, S.N. Ximuxin. Mir Transporta, 2005, no 3, pp. 80-82.

11. Markvardt K.G. Kontaktnaya set'. [Contact network] Uchebnik dlya vuzov j.-d. trans. / K.G. Markvardt. Moscow, Transport, 1994, 335 p.

12. Plaks A.V. Issledovanie vzaimodeystviya tokopriemnika i kontaktnoy seti pri visokix skorostyax dvijeniya. A.V. Plaks. Sb. nauch. tr. LIITa, 1959, no 167, pp. 68-76.

13. Frayfel'd A.V. Proektirovanie kontaktnoy seti [Contact network design]. A.V. Frayfel'd, G.N. Brod, Moscow, Transport, 1991, 335 p.

14. Aydin I., Karakose M., Akin E. Monitoring of pantograph-catenary interaction by using particle swarm based contact wire tracking. Systems Signals and Image Processing (IWSSIP) 2014, International Conference on, 2014, pp. 23-26.

15. Boccione M., Bucca G., A. Collina A., Comolli L. Pantograph-catenary monitoring by means of fibre Bragg grating sensors: Results from tests. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 41, 2013, no 1-2, pp. 226-238.

16. Bucca G.A Procedure for the Wear Prediction of Collector Strip and Contact Wire in Pantograph–Catenary System. G. Bucca, A. Collina. Wear, 266(1–2), 2009, pp. 46-59.

17. Collina A. Numerical simulation of pantograph-overhead equipment interaction. A. Collina, S. Bruni, Vehicle System Dynamics 38 (4), 2002, pp. 261-291.

18. Judek S., Skibicki J., Visual method for detecting critical damage in railway contact strips. Measurement Science and Technology, vol. 29, no. 5, 2018.

19. Klapas D. Simulation of wear in overhead current collection systems. D. Klapas, F.A. Benson, R. Hackam. Review of Scientific Instruments 56, 1985, pp. 1820-1828.

20. Yamashita Y., et al. A basic study on the method for detecting step-shaped wear on contact stripes. Condition monitoring and diagnostic engineering management, 2010, pp. 305-312.

Рецензент: Якубов М.С., к.т.н., профессор кафедры “Электроснабжение” Ташкентского государственного транспортного университета.