

УДК 629.423.2:681.518.54

ВИДІЛЕННЯ БІЧНИХ СМУГ НА СПЕКТРАХ ПОТУЖНОСТІ ВІБРАЦІЇ ТЯГОВИХ РЕДУКТОРІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Канд. техн. наук С.В. Михалків, д-р техн. наук В.І. Бульба, старш. викл. А.М. Ходаківський, аспірант Іванов І.А., магістрант Петров В.В.

SIDEBAND EXTRACTION ON THE VIBRATION POWER SPECTRA FOR THE TRACTION GEARBOXES OF ELECTRIC TRAINS

PhD (Tech.) S. Mykhalkiv, Dr. Sc. (Tech.) V. Bulba, Sr. lecturer A. Khodakivskyi, postgraduate student Ivanov I.A., master Petrov V.V.

***Анотація.** У статті застосовується метод синхронного усереднення вібрації у часі для виділення діагностичних ознак технічного стану тягового редуктора електропоїзда. Цей метод забезпечує усунення випадкових складових і залишає частотні компоненти, які є синхронними до частоти обертання шестірні та зубчастого колеса тягового редуктора. Розраховані спектри потужності вібрації після синхронного усереднення дозволяють за наявними посиленими бічними смугами визначати локалізовані й розповсюджені пошкодження шестірні або зубчастого колеса.*

***Ключові слова:** бічна смуга, вібрація, електропоїзд, синхронне усереднення, спектр, тяговий редуктор, частота.*

***Abstract.** The paper deals with the time-synchronous averaging technique of vibration signals for extraction of the features of the technical state of electric train traction gearboxes. Simulation of the vibration of the faultless gear mesh, and gearwheel with a cracked tooth and strong deterministic component was carried out. The rotation frequencies of gearwheel and pinion, and the mesh frequency are clear visible on the vibration power spectrum. Taking into account the poor visibility of the sidebands around mesh frequency on the power spectra, the time-synchronous averaging technique enhances the sidebands, the width of which corresponds to the gearwheel rotation frequency and influences weakening of the sidebands of the faultless pinion. During the experimental research the traction gearbox vibration of electric train was acquired on the test bench in a depot, and the calculated power spectrum has not identified sidebands and mesh frequency. After the time-synchronous average within 18 revolutions for the pinion and gearwheel frequency, the vibration power spectra were acquired. The time-synchronous average technique eliminates random and non-synchronous components while keeping the frequency components that are synchronous to the rotating frequency of the pinion and gearwheel of the traction gearbox. On the vibration power spectra in the vicinity of the mesh frequency the strong sidebands are visible, and they do not coincide with*

the previously calculated rotation frequencies, which means the absence of gearwheel faults. At the vibration power spectrum for the pinion there are six sidebands in the vicinity of the meshing frequency that coincide with the previously calculated pinion rotation frequencies, which means the presence of localized or distributed faults for the pinion. Disassembling of the traction gearbox shows a crack of the rolling bearing inner race and faultless state of the gear mesh. It was established that the sensitivity of the time-synchronous average technique makes it possible to identify not only localized faults extraction but also distributed faults such as eccentricity and misalignment of the pinion shaft through the modulation of the sidebands on vibration power spectra of the gearwheel.

Keywords: *electric train, frequency, sideband, spectrum, synchronous averaging, traction gearbox, vibration.*

Вступ. Редуктори набули широкого поширення в машинобудуванні. Віднедавна діагностування редукторів привертає великий інтерес, бо дозволяє відслідковувати розвиток пошкоджень для уникнення непередбачених зупинок обладнання [1], скорочувати час їх.....**Продовження тексту**

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз вібраційних сигналів зареєстрованих на корпусі редукторів є одним з найефективніших способів діагностування технічного стану. Протягом декількох деkad було розроблено багато методів **Продовження тексту**[3, 4].

Визначення мети та завдання дослідження. Отримання діагностичних ознак технічного стану тягового редуктора електропоїзда завдяки методу синхронного усереднення вібрації у часі.

Для досягнення сформульованої мети потрібно розв'язати такі завдання: **Продовження тексту** [5 та 7].

Основна частина дослідження. Головна відмінність рухомого складу від іншого промислового обладнання полягає у складній взаємодії контакту колеса-рейки, що збуджує вібрацію значно вищу за вібрацію внаслідок пошкоджень у тягових редукторах особливо на ранніх стадіях і впливає на низьке відношення сигнал/шум під час діагностування протягом руху бортовими комплексами, де ознаки технічного стану тягового редуктора заховані в шумі [16]. Розв'язання завдання з діагностування ... **Продовження тексту**[6, 8-10]

Таблиця 1

Назва таблиці

Параметр	Значення	Примітки

... що вгвинчується в шпильку й до отвору додавання мастила в опорні підшипники підшипникового вузла тягового редуктора електропоїзда серії EP2T. Далі сигнал після аналогового фільтру низьких частот надходить до цифрового самописця де зазнає дискретизації частотою 46 кГц (рис. 1). Сигнал частоти обертання потрібен для контролю сталої частоти дискретизації усього

вібраційного сигналу або для точного визначення періоду обертання шестірні чи зубчастого колеса тягового редуктора [15].

Модель вібрації одноступінчастого редуктора буде мати вигляд

$$y(t) = \sum_{k=0}^K X_k (1 + a_k(t)) \cos(2\pi k f_m t + \phi_k + b_k(t)) \quad (1)$$

де X_k – амплітуда k -ої гармоніки зубозачеплення;

$f_m = N_1 f_1 = N_2 f_2$ – частота зубозачеплення, яка залучає частоту обертання шестірні f_1 із числом зубів шестірні N_1 і частоту обертання зубчастого колеса f_2 із числом зубів зубчастого колеса N_2 ;

$a_k(t)$, $b_k(t)$ – функції модуляції;

ϕ_k – початкова фаза.

Функції модуляції відповідають за пошкодження шестірні та зубчастого колеса. $a_k(t)$ складається з двох ... П р о д о в ж е н н я т е к с т у

На рис. 2 а наводяться результати моделювання часової форми вібрації справного тягового редуктора електропоїзда з $N_1 = 22$, $N_2 = 75$, $f_1 = 12,38$ Гц, $f_2 = 3,65$ Гц, яка виражена сильною періодичною складовою частоти зубозачеплення $f_m = 272,8$ Гц з високою амплітудою.

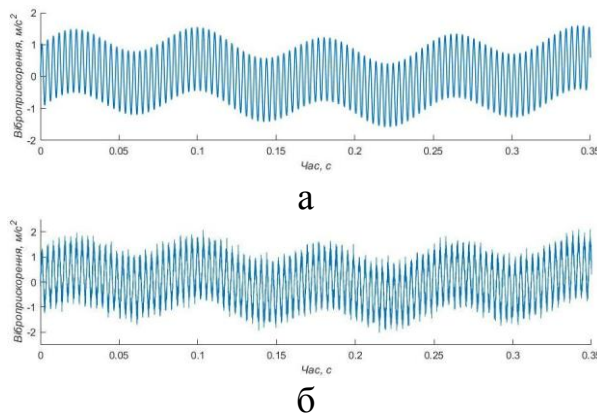


Рис. 2. Моделювання часової форми вібрації тягового редуктора:
а – вібрація справного редуктора без шуму; б – вібрація справного редуктора із шумом

Далі здійснюється моделювання локального пошкодження відколу зуба зубчастого колеса, що спричиняє одиничний удар і, як наслідок, збурення уздовж усього частотного... П р о д о в ж е н н я т е к с т у

Висновки. Результати моделювання вібрації зубчастого зачеплення з відколотим зубом зубчастого колеса продемонстрували ефективність методу синхронного усереднення визначати це пошкодження на спектрі потужності за

наявними бічними смугами. Відхилення результатів експерименту від результатів моделювання не перевищує 0,44 %.

На відміну від класичних спектральних методів запропонований метод синхронного усереднення вібрації ... **Продовження тексту**

Список використаних джерел

1. Dubała J., Gałęzia A. A novel method of gearbox health vibration monitoring using empirical mode decomposition: Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations. Proceedings of the third International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations CMMNO 2013. 2014. pp. 225–234. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-39348-8_19 (last access: 05.01.2019).

2. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : ДСН 3.3.6.039-99 : затв. МОЗ України 01.12.1999 // База даних «Нормативно-директивні документи МОЗ України». URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1862> (дата звернення: 10.11.2019).

3. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. Чинний від 2011-08-01. URL: <http://metrology.com.ua/download/dstu-gost-gost-r/60-dstu/646-dstu-7237-2011> (дата звернення: 11.11.2018).

4. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т.1. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1979. 453 с.

5. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. Київ : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. 456 с.

6. Шрамко С. Г. Повышение эффективности эксплуатации электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения // Вестник ИрГТУ. 2016. № 4 (111). С. 192–199.

Михалків Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. Тел.: (057) 730-19-37. E-mail: msv_t@ukr.net

Бульба Владислав Ігорович, д-р техн. наук, професор кафедри колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. E-mail: bulbvi@i.ua

Ходаківський Андрій Миколайович, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. E-mail: khodak_an_m@gmail.com

Іванов Іван Андрійович, аспірант кафедри будівельних машин Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. E-mail: ivan_andr@gmail.com

Петров Володимир Васильович, магістрант, група 12-6-М Українського державного університету залізничного транспорту.

Mykhalkiv Serhii, PhD (Tech). Associate Professor, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. Tel.(057) 730-19-37. E-mail: svm_m@ukr.net

Bulba Vladyslav, Dr. Sc. (Tech.), professor, department of track facilities, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. E-mail: bulbass@i.ua

Khodakivskyi Andrii, Senior Lecturer, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. E-mail: khodakivski@gmail.com

Ivanov Ivan, postgraduate student, department of construction machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0000-0000-0000. E-mail: ivanov@gmail.com

Petrov Vladimir, master, Group 12-6-M, Ukrainian State University of Railway Transport.