

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (131, 132, 133)

УДК 621.874.04

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ПРИ РОБОТІ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНА

Д-р техн. наук Н. М. Фідровська, канд. техн. наук Є. Д. Слепужніков,
д-р техн. наук Р. В. Пономаренко, канд. техн. наук Д. С. Козодой

EXPERIMENTAL STUDY OF DYNAMIC EFFORTS DURING THE OPERATION OF THE MECHANISM OF MOVEMENT OF THE CARGO TROLLEY OF AN OVERHEAD CRANE

D. Sc. (Tech.) N. Fidrovskaya, PhD (Tech.) E. Slepuzhnikov, Dr. Sc. (Tech.) R. Ponomarenko,
PhD (Tech.) D. Kozodoi

***Анотація.** У статті проведено визначення динамічних навантажень, що виникають у ходових колесах звичайної (штатної) та модернізованої конструкції під час пересування вантажного візка мостового крана. Модернізоване колесо має вставку, яка виготовлена з гумової суміші 7-7130. Також було визначено метод діагностування ходових коліс звичайної та модернізованої конструкції.*

Для реєстрації та аналізу сигналу обрано програму ZETLAB. Вона дає змогу відображати зареєстрований сигнал не тільки в режимі реального часу з подальшим масштабуванням, а й виконувати оцифрування сигналу з подальшою можливістю обробити отримані результати в різних стандартах.

Отримані результати вказують на доцільність використання коліс модернізованої конструкції на вантажному візку мостового крана.

***Ключові слова:** колесо ходове, вантажний візок, мостовий кран, гумова вставка, динамічні навантаження.*

***Abstract.** The article deals with the determination of the dynamic loads arising in the running wheels of a conventional (standard) and modernized design during the movement of the cargo carriage of an overhead crane. The redesigned wheel has an insert made from 7-7130 rubber compound. Also, a method for diagnosing running wheels of conventional and modernized design was determined.*

The ZETLAB program was chosen as a program for signal registration and analysis. This program allows not only displaying the signal in real time with the possibility of scaling, but also allows you to digitize the signal with the possibility of further processing the results in various standards.

Finding out the occurrence of a defect in wheels and rails is mainly carried out by two methods, when shock pulses appear and according to an increased background of vibration. In practice, there is a process of "dry" rolling friction, and this means that the method of shock pulses for diagnosing the condition of wheels and a rail track can be used only in some cases in the form of extreme wear of the friction pairs of a wheel and a rail. That is, the method of spectral analysis of fluctuations in the power of random vibration can be successfully applied to diagnose the state of the rail track and crane wheel.

The diagnostic method based on the overall vibration level allows for an overall assessment of the technical condition. Such diagnostics makes it possible to identify defects only at the very last stage of development, when they lead or have already led to partial destruction of the rolling surface of the wheel and the surface of the rail, that is, to an increase in the overall level of vibration.

The performance evaluation criteria are fully focused on the corresponding standard vibration levels for the investigated friction pair. A friction pair is considered to be defective, the vibration of which exceeds the general standard. When determining an increased overall level of vibration, maintenance personnel must make a decision to replace parts or a unit to prolong its operation.

The results obtained indicate the advisability of using the wheels of the modernized design on the cargo carriage of an overhead crane.

Keywords: running wheel, truck, overhead crane, rubber insert, dynamic loads.

Вступ. У сьогоденній промисловості все частіше можна натрапити на конструкції, які складаються з декількох неоднорідних шарів. Це циліндричні деталі, які поєднані між собою за допомогою різних засобів, наприклад, футеровані барабани, труби для транспортування різноманітних речовин, ходові колеса.

В авіабудуванні, суднобудуванні, будівництві та інших галузях застосовуються багатошарові конструкції, в основному тришарові пластини та оболонки. Така конструкція складається з двох міцних зовнішніх шарів, які з'єднані за допомогою заповнювача. Заповнювачем є матеріал, який має меншу міцність, ніж зовнішні шари, але забезпечує пружні властивості оболонці або пластинці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Металоконструкція крана опирається на ходові колеса і тримає на собі вантажний ходовий візок [1]. При цьому вона в декілька разів зовнішньо статично невизначена система, порядок якої залежить від кількості реборд ходових коліс, які контактують з рейкою [2, 3].

На мостовий кран, який працює у приміщенні, діють такі сили:

- сили руху приводних двигунів відповідного краю крана, які залежать від швидкості приводного колеса і часу перемикання пускових реостатів з одного на інший ступені [4];

- сили опору пересування відповідного краю крана, які залежать від маси вантажу, місця розташування вантажного

візка на мосту крана, кількості реборд кранових ходових коліс, які контактують з рейками, і сили тертя, які створюються при цьому між ребордами та головками рейок [5–7];

- горизонтальна складова сили натягнення в канатах при гнучкому підвісі вантажу, яка виникає при пуску або гальмуванні [8];

- реакції зв'язку, які діють з напрямку рейок на ходові колеса мостового крана по доріжці кочення [9, 10];

- контактні сили, які діють на реборди коліс з напрямку рейок [11, 12].

На розмір динамічних сил, що виникають при переміщенні ходових коліс, впливають не тільки геометричні, а також і масові параметри металоконструкції мостового крана. Вони визначають кінематичну енергію під час його поздовжнього та поперечного руху в горизонтальній площині, а також коефіцієнт жорсткості металоконструкції мостового крана та дисипативні параметри, які характеризують поглинання енергії під час пружних коливань. Прогін мосту і база крана – це геометричні складові. Маса крана належить до масових параметрів, вона приведена до його поздовжнього переміщення. Питома вага основних балок, маса візка, маса механізму пересування та момент інерції головної балки крана відносно вертикальної осі також належать до масових параметрів [13].

Структурні сили демпфування запобігають пружним коливанням. До таких

сил слід віднести сили тертя в з'єднаннях мостового крана з ходовими колесами візка.

На хід динамічних процесів, які відбуваються в кранах, впливають і конструктивні параметри механізмів пересування мостового крана та візка. Також впливає і різновид ходових коліс та їхня кількість, загальна схема механізму пересування крана, тип підкранової рейки і засоби її кріплення, технічні характеристики приводного двигуна [14].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є визначення динамічних навантажень при застосуванні модернізованих ходових коліс на вантажному візку мостового крана.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначити метод діагностування кранових ходових коліс;
- визначити динамічні навантаження штатних та модернізованих ходових коліс.

Основна частина дослідження. Виявлення дефекту ходових коліс і рейок, як правило, здійснюється двома методами. Перший метод пов'язаний з появою ударних імпульсів. Другий метод пов'язаний з підвищенням фону вібрації. Практично триває процес «сухого» тертя кочення, а це означає, що метод ударних імпульсів для діагностики стану ходових коліс і рейкової колії може застосовуватися тільки в окремих випадках у вигляді екстремального зносу пар тертя ходового колеса і рейки. Тобто метод спектрального аналізу коливань потужності випадкової вібрації може бути успішно використаний для діагностування стану рейкової колії та кранового ходового колеса [15].

Необхідно звернути увагу на методи з'ясування технічного стану вузлів та механізмів для пошуку дефектів:

- метод виявлення загального рівня вібрації;
- метод середнього квадратичного значення (СКЗ) віброшвидкості;
- метод визначення спектра вібросигналу;

– метод співвідношення пікових та фонових даних вібросигналу;

- метод спектра обгинальної сигналу.

Провести загальну оцінку технічного стану можна за допомогою методу діагностування загального рівня вібраційних ознак. Але такий метод дає змогу визначити дефекти лише на останньому етапі розвитку, коли вони руйнують або вже призвели до руйнування поверхні кочення ходового колеса і поверхні рейки. Тобто коли загальний рівень вібрації вже збільшений.

Під час дослідження пари тертя використовують уже відомі критерії оцінювання працездатності, які зорієнтовані на відповідні нормовані рівні вібраційних ознак. Тому пара тертя, у якій є перевищення загальних норм вібраційних ознак, вважається дефектною. В таких випадках збільшення загального рівня вібраційних ознак технічні працівники мають прийняти рішення: або виконати заміну тільки однієї деталі, або всього вузла для збільшення терміну його експлуатації.

Прерогативою цього методу є також відсутність потреби використання додаткового обладнання і проведення спеціальної підготовки технічного персоналу для його застосування. Витрати на спеціальне технічне обладнання і впровадження цього методу зведені до мінімуму.

Діагностування за середнім квадратичним значенням віброшвидкості дає змогу з'ясувати питання щодо наявності дефектів тільки на останніх етапах їх розвинення, коли загальний рівень вібраційних ознак значно зростає. Цей метод майже не відрізняється від вищевказаного методу, але він є точнішим, оскільки використовується обладнання більшої чутливості. Також він не потребує великих витрат, а, навпаки, витрати зведені до мінімуму. Технічний персонал також не треба додатково готувати до проведення цих робіт.

Порівняно з попередніми методами діагностування, метод діагностування за спектром вібросигналу дає змогу поряд з

виявленням дефектів основних вузлів виявити також дефекти відповідних механізмів або вузлів. Під час застосування цього методу можна розпочати діагностування з середини стадії розвитку дефектів. На цій стадії енергія резонансних коливань збільшується і стає помітною в частотному розподіленні вібраційних ознак.

Але для застосування цього методу необхідне більш дороге устаткування і потрібен технічний персонал з належною підготовкою.

Метод співвідношення пікових та фонових даних вібросигналу розроблявся багатьма організаціями і має кілька назв:

- метод реєстрації високочастотного сигналу (High Frequency Detection);
- метод реєстрації ударних імпульсів (Shock Pulse Measurement);
- метод реєстрації енергії імпульсу (Spike Energy).

Різновиди цього методу дають змогу зареєструвати дефекти на досить ранніх стадіях розвитку. Обладнання, за допомогою якого можна провести діагностування, досить просте і дешеве.

Метод діагностування спектра обгинальної сигналу дає змогу зареєструвати дефекти на ранніх стадіях розвитку, починаючи з дефекту на поверхні елементів кочення. Цей метод ґрунтується на спеціальному датчику вібрації та аналізаторі спектра. На сьогодні цей метод слід вважати класичним для аналізу вібраційних сигналів. Він дає змогу провести більш ретельний аналіз устаткування і є найбільш ефективним з усіх вищевказаних методів.

Під час використання цього методу є можливість поступового накопичення проаналізованих результатів спектра.

Для виконання діагностування стану кранових ходових коліс та рейок найбільш придатним є метод діагностування за спектром обгинальної. Цей метод дає змогу провести діагностування на працюючому обладнанні та зімітувати робочі навантаження. Для впровадження цього

методу слід використовувати устаткування, яке дасть змогу зареєструвати та проаналізувати частотні складові вібраційних ознак у парі тертя рейка – колесо.

Експериментальні дослідження проводились на штатних та модернізованих холостих колесах вантажного візка мостового крана.

Є такі особливості роботи вузлів кранових ходових коліс та механізму пересування:

- швидкість обертів ходових коліс крана і вантажного візка складає не більше 3–5 об/с, це обмежує можливості використання методів вібродіагностування за високими частотами;

- довгий термін під час експлуатації. Механізми пересування мостового крана та вантажного візка перебувають у режимі гальмування або прискорення, внаслідок чого швидкість обертів ходових кранових ходових коліс змінюється, це не дає змоги чітко встановити головні частоти дефектів внаслідок їх плавної зміни;

- навантаження, під дією якого перебуває ходове кранове колесо, є мінливим, оскільки на нього діє нерівність підкранової колії, проходження ходового колеса через стики рейок та контакт реборд ходових коліс з рейками;

- термін встановленого режиму роботи, при якому є можливість більш якісно провести вібродіагностування ходових кранових коліс, обмежене часом, за який відбувається 3–7 обертів ходового колеса залежно від якісного стану рейкової колії.

Тому, зважаючи на ці обставини, необхідно мати таке обладнання, в якому є можливість виконувати запис сигналу протягом значного часу. Також має бути можливість перегляду зареєстрованих даних з метою виключення хибних сигналів і вибору для аналізу ділянок, при яких кранові ходові колеса обертаються в установлених режимах роботи. Це буде забезпечувати найбільшу достовірність результатів, отриманих під час експериментального дослідження.

Для реєстрації вібраційних ознак у ходових колесах, що встановлені на вантажному візку мостового крана, було обрано два вібродатчики Д 14. Ці датчики

були встановлені в корпус букси ходового кранового колеса і щупами упирались у зовнішнє кільце підшипника кочення (рис. 1).

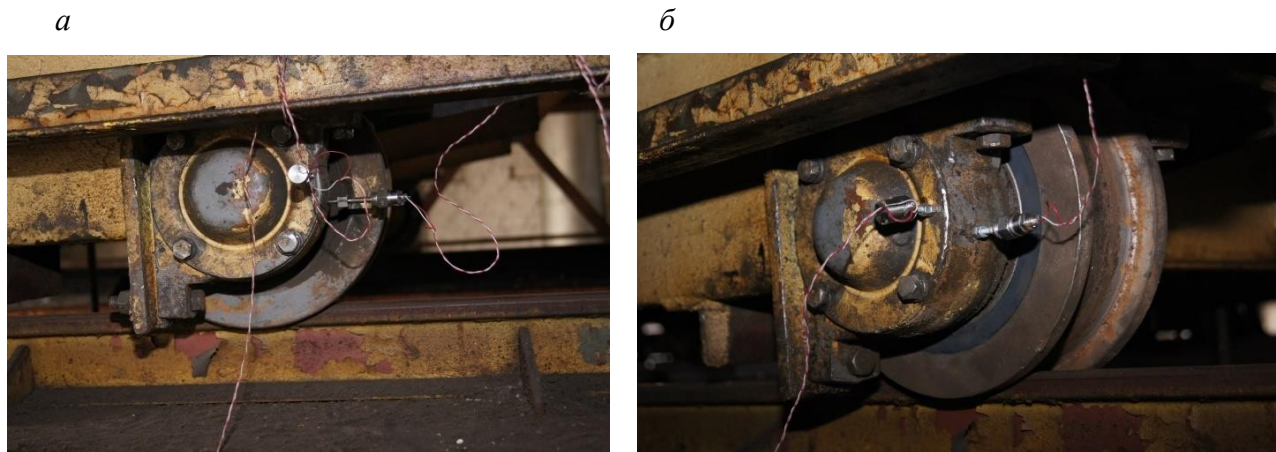


Рис. 1. Установлення датчиків реєстрації шуму і вібрації на буксу ходового колеса вантажного візка мостового крана: *а* – штатне ходове колесо; *б* – модернізоване ходове колесо

Для реєстрації осьової вібрації був призначений перший датчик. Другий – для реєстрації радіальної вібрації. Також було проведено перевірку опорних підшипників за рівнем вібрації та виконано заміну зношених підшипників на нові. Передача сигналу від датчиків здійснювалась на посилювач з подальшою передачею сигналу на аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Як АЦП було застосовано універсальне ZETLAB з можливістю оцифрування 14 біт і тактовою частотою 140 кГц. Це дало змогу перетворити аналоговий сигнал у цифровий і цифровий в – аналоговий.

Реєстрацію експериментальних даних та первинну обробку результатів було виконано на комп'ютері, складеному на платформі IntelCeleron з частотою процесора – 2000 МГц. У комплект вимірювально-реєструвальної апаратури входив двоканальний підсилювач ZETLAB з фіксованими коефіцієнтами підсилення (рис. 2). Також для налаштування та перевірки працездатності обладнання було

використано генератор низької частоти та цифровий мультиметр.

Програма ZETLAB використовувалась для реєстрації і аналізу сигналу. Ця програма дала змогу відображати сигнал не тільки в режимі реального часу з можливістю масштабування. Також була можливість виконати оцифрування сигналу з подальшою обробкою результатів у різних стандартах і проводити запис сигналу.

Проведення тарування датчиків було необхідне для аналізу отриманих експериментальних даних. Тарування дасть змогу оцінити рівень сприймання датчиками вібрації у фізичних величинах [16]. Необхідно чітко визначити ті фізичні величини, в яких найбільш зручно проводити оцінку рівня вібраційних ознак.

Для проведення тарування датчиків Д 14 було розроблено спеціальний стенд. За основу джерела сигналу низької частоти та індукційно-магнітного вібростолу було використано гучномовець ГДШ 10, вимірювач шуму і вібрації ВШВ-МЗ-003,

вібродатчики, комп'ютер. За допомогою цього обладнання проводилось подальше

дослідження. Принципову схему подано на рис. 3.



Рис. 2. Вимірювально-реєструвальне обладнання

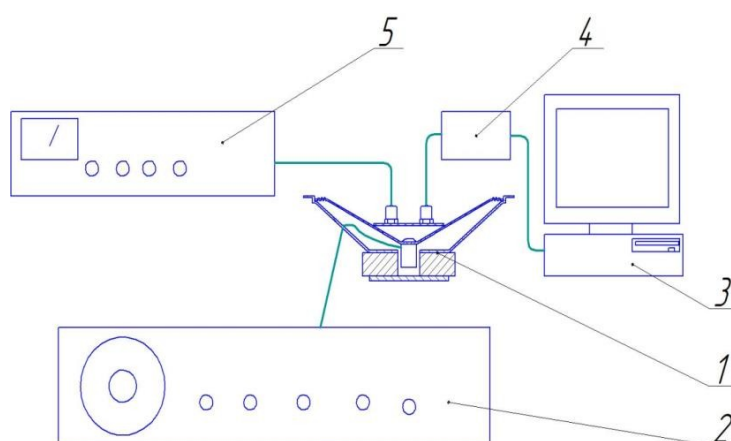


Рис. 3. Випробувальний стенд для проведення тарування датчиків:
1 – гучномовець ГДШ 10; 2 – генератор низької частоти; 3 – комп'ютер для реєстрації даних; 4 – попередній підсилювач; 5 – віброшумомір ВШВ-МЗ-003

Розглянемо принцип роботи випробувального стенда. За допомогою генератора низької частоти 2 формується базовий електричний сигнал змінного струму низької частоти. Цей сигнал переходить у вібрацію заданої частоти за допомогою вібростолу 1. Далі виконується порівняння показників між даними вібродатчика, який з'єднано з комп'ютером,

і показниками віброшумоміра ВШВ. За результатами аналізу отриманих експериментальних даних було отримано тарувальний графік залежності між показниками віброшумоміра ВШВ і оцифрованих даних спектра вібрації (рис. 4). По осі абсцис наведено отримані значення віброприскорення. По осі ординат – показники вібродатчика.

Натурний експеримент був проведений на ходових колесах штатної та модернізованої конструкції вантажного візка мостового двобалкового крана вантажопідйомністю 5 т, висотою підйому 8 м, прогоном 22,5 м, режимом роботи 7К [17].

Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації при використанні штатного ходового колеса наведено на рис. 5.

Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації при використанні модернізованого ходового колеса наведено на рис. 6.

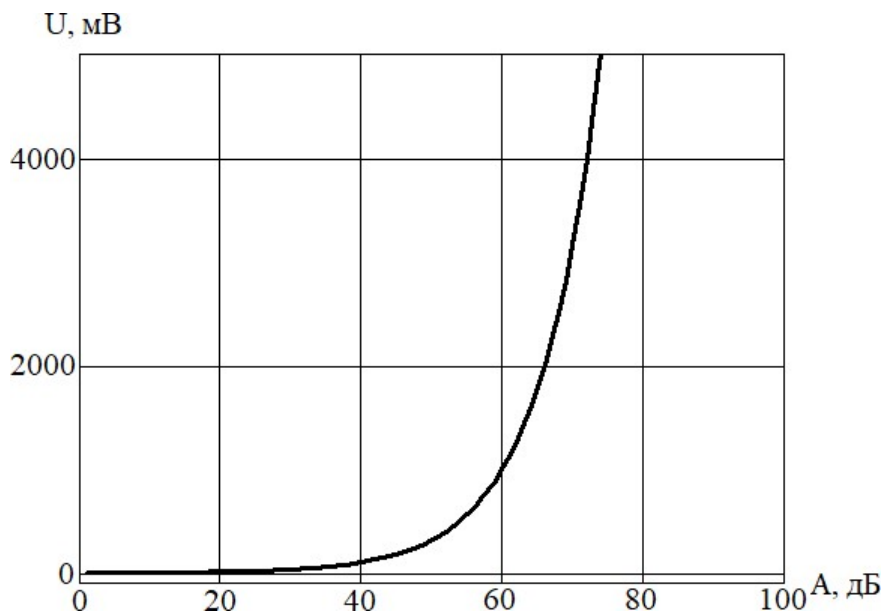


Рис. 4. Тарувальний графік

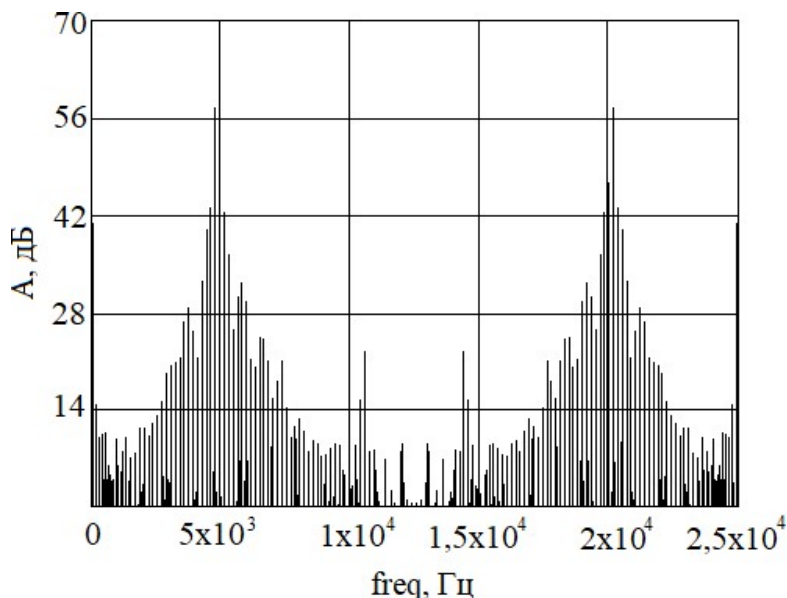


Рис. 5. Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації штатного кранового колеса

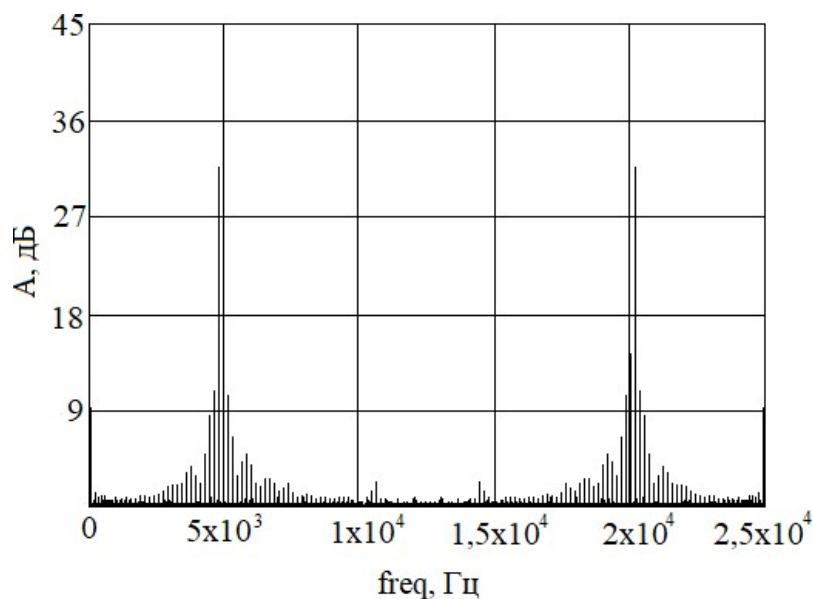


Рис. 6. Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації модернізованого кранового колеса

У ходовому колесі модернізованої конструкції потужність сигналу не має періодичних низькочастотних коливань. У звичайному ходовому колесі ці коливання досить сильні і добре відображаються у спектрі обгинальної у вигляді гармонічних складових.

Висновки. Визначено метод діагностування кранових ходових коліс.

Запропонована модернізована конструкція ходового колеса зменшує динамічні навантаження в колесі і знос ходової частини, в тому числі реборд. Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації при використанні штатного кранового колеса дорівнює 57 Дб, а колеса з пружним кільцем – 32 Дб.

Список використаних джерел

1. Nischeta S. A., Chernyshova E. P., Narkevich M. Y., Krishan A. L., Sagadatov A. I. Damage of bridge lifting cranes and crane metal structures. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. №12 (23). P. 6587–65890. doi: <https://www.researchgate.net/publication/325416488>.
2. Fidrovska N., Slepuzhnikov E., Perevoznik I. A contact problem solution with taking into account shear deformations. Science and Education a New Dimension. *Natural and Technical Sciences*. 2019. Issue193. P. 80–81. doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-20.
3. Фідровська Н. М., Слепужніков Є. Д., Чернишенко О. В. Динамічні навантаження при пересуванні ходових коліс з гумовими вставками. *Машинобудування*. 2015. Вип. 15. С. 87–91.
4. Ловейкін В. С., Крушельницький В. В. Динамічний аналіз переміщення мостового крана з урахуванням механічної характеристики приводного двигуна. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 262. С. 26–37. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnu_tech_2017_262_4.
5. Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Кадикало І. О. Мінімізація динамічних навантажень в механізмі підйому вантажопідйомних машин. *Науковий вісник Національного університету*

біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 251. С. 55–69. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_251_7.

6. Development of a method for computer simulation of a swingings pringload movement path / L. Kutsenko, O. Semkiv, A. Kalynovskyi, L. Zapolskiy, O. Shoman, G. Virchenko, V. Martynov, M. Zhuravskij, V. Danylenko, N. Ismailova. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. №1 (7–97). P. 60–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154191>.

7. Modeling the resonance of a swingings pringbased on the synthesis of a motion trajectory of its load / L. Kutsenko, V. Vanin, O. Shoman, P. Yablonskyi, L. Zapolskiy, N. Hrytsyna, S. Nazarenko, V. Danylenko, E. Sivak, S. Shevchenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 3/7 (99). P. 53–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168909>.

8. Mathematical and S-models of cargo oscillations during movement of bridge crane / S. V. Raksha, P. G. Anofriev, V. M. Bohomaz, O. S. Kuropiatnyk. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2019. № 2. P. 108–115. URL: <https://DOI:10.29202/nvngu/2019-2/16>.

9. On wheel rolling along the rail regime with longitudinal load / V. P. Franchuk, K. A. Ziborov, V. V. Krivda, S. O. Fedoriachenko. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2017. № 3. P. 62–67. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_3_12.

10. Konowrocki R., Chojnacki A. Analysis of rail vehicles' operational reliability in the aspect of safety against derailment based on various methods of determining the assessment criterion. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2020. Vol. 22. № 1. P. 73–85. URL: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.1.9>.

11. Markine V., Mashal A, Ren M. Effect of wheel–rail interface parameters on contact stability in explicit finite element analysis. *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*. 2018. Vol. 232 (6). P. 1879–1894. DOI: 10.1177/0954409718754941.

12. Molyneux-Berry P., Davis C., Bevan A. The Influence of Wheel/Rail Contact Conditions on the Microstructure and Hardness of Railway Wheels. *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014. Article ID 209752. P. 1–16. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/209752>.

13. Haniszewski T. Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation. *Journal of vibroengineering*. 2017. Vol. 19. Issue 1. P. 75–86. URL: <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17310>.

14. Bogdevičius M., Žygiienė R., Bureika G., Dailydka S. An analytical mathematical method for calculation of the dynamic wheel–rail impact force caused by wheel flat. *Vehicle system dynamics*. Issue 54 (5). 2016. P. 689–705. URL: <https://doi.org/10.1080/00423114.2016.1153114>.

15. Слепужніков Є. Д., Фідровська Н. М., Варченко І. С. Механізми пересування мостових кранів: монографія. Харків: НУЦЗУ, 2019. 124 с. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8646/1/krane%20monogr%202019.pdf>.

16. Обґрунтування проведення тарировки тензорезисторів в комплексі з вимірювальним обладнанням / Н. М. Фідровська, Р. В. Пономаренко, Є. Д. Слепужніков, Д. С. Козодой. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Вип. 194. С. 72–80.

17. Обґрунтування конструкції кранового ходового колеса з еластичною вставкою / Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков, Р. В. Пономаренко, Д. С. Козодой. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Вип. 193. С. 33–40.

Фідровська Наталія Миколаївна, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. ORCIDiD: 0000-0002-5248-273X. Тел.: +38(097) 396-98-83. E-mail: nfidrovskaya@ukr.net.

Слепужніков Євген Дмитрович, канд. техн. наук, викладач кафедри спеціальної хімії та хімічної технології Національного університету цивільного захисту України. ORCIDiD: 0000-0002-5449-3512. Тел.: +38(067)922-99-14. E-mail: ors2011@ukr.net.

Пономаренко Роман Володимирович, д-р техн. наук, с.н.с., заступник начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки Національного університету цивільного захисту України. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6300-3108>. Тел.: +38(066)-029-71-21. E-mail: prv@nuczu.edu.ua.

Козодой Дмитро Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3615-1815. Тел: +38(066)519-47-31. E-mail: Dmitry_1980@ukr.net.

Fidrovska Nataliia, Dr. Sc. (Tech.), professor of the department of construction and road machines, Kharkiv national automobile and road university. ORCIDiD: 0000-0002-5248-273X. E-mail: nfidrovskaya@ukr.net.

Slepuzhnikov Evgen, PhD (Tech.), lecturer at the department of special chemistry and chemical technology of the National university of civil defense of Ukraine. ORCID iD: 0000-0002-5449-3512. E-mail: ors2011@ukr.net.

Ponomarenko Roman, Dr. Sc. (Tech.), Deputy Head of the Department of fire and rescue training National university of civil defence of Ukraine. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6300-3108>. Email: prv@nuczu.edu.ua.

Kozodoi Dmytro, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of labor protection and environment, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3615-1815. E-mail: Dmitry_1980@ukr.net.

Статтю прийнято 29.01.2021 р.