

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-28-37

УДК 620.863

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РОБОТІ КРАНОВИХ ХОДОВИХ КОЛІС С ЕЛАСТИЧНИМИ ВСТАВКАМИ©Фідровська Н.М.¹, Слепужніков Є.Д.², Перевозник І.А.³*Харківський національний автомобільно-дорожній університет¹**Національний університет цивільного захисту України²**Харківський державний автомобільно-дорожній коледж³***Інформація про авторів:**

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; nfidrovsraya@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри дорожніх і будівельних машин; Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна

Слепужніков Євген Дмитрович: ORCID: 0000-0002-5449-3512; slepuzhnikov@muczu.edu.ua; кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології; Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна

Перевозник Ігор Анатолійович: ORCID: 0000-0002-4278-523X; igorperevozyk1970@gmail.com; аспірант, завідувач навчальної лабораторії технічних засобів навчання; Харківський державний автомобільно-дорожній коледж, вул. Котельниківська, 3, м. Харків, 61051, Україна

В статті розглянуто експериментальні дослідження динамічних зусиль, які виникають при пересуванні вантажного візка мостового крана. Кранові колеса являються найбільш швидко зношуваним елементом крана. Зменшення їх довговічності приводе до збільшення витрат на ремонт і простоїв крана. Тому, підвищення довговічності кранових ходових коліс являється актуальною задачею сучасного кранобудування. Всі конструкції ходових коліс досить жорсткі і не сприймають поштовхи і перекося виникаючі при відхиленні рейкового шляху від рекомендованих значень і приводять до значного зносу реборд і рейок.

Для порівняння були вибрані суцільні ходові колеса двохребордні з циліндричним ободом, які застосовуються практично на всіх мостових кранах і колеса нової конструкції, які складаються з трьох шарів і мають еластичну вставку, яка виготовлена із спеціальної гуми.

Для перевірки отриманих раніше теоретичних даних був проведений експеримент на мостовому крані вантажопідйомністю 5 т., прогоном 22,5 м., висотою підйому 8 м., режимом роботи 7 К. Дослідження вібраційного стану проводилось на балці крану по середині прольоту, на осі веденого колеса візка крану з еластичною вставкою та на осі приводного колеса візка крану звичайної конструкції.

Аналіз отриманих рішень показав, що при застосуванні ходового колеса з еластичною вставкою динамічні фактори при пересуванні вантажного візка зменшуються. Проведено аналіз закономірності формування вібраційних ознак в різних точках конструкції мостового крана. Запропонована конструкція і методика розрахунку ходового колеса з еластичною вставкою дозволяє підвищити його експлуатаційну надійність.

Ключові слова: колесо ходове, динамічні навантаження, механізм пересування, еластична вставка, візок вантажний, експериментальні дослідження.

Фидровская Н.Н., Слепужников Е.Д., Перевозник И.А. «Экспериментальное исследование динамических нагрузок при работе крановых ходовых колес с эластическими вставками».

В статье рассмотрено экспериментальные исследования динамических усилий, возникающих при передвижении грузовой тележки мостового крана. Крановые колеса являются наиболее быстро изнашиваемым элементом крана. Уменьшение их долговечности приводит к увеличению затрат на ремонт и простоев крана. Поэтому повышение долговечности крановых колес является актуальной задачей современного краностроения.

Все конструкции ходовых колес достаточно жесткие и не воспринимают толчки и перекосы, возникающие при отклонении рельсового пути от рекомендованных значений и приводят к значительному износу реборд и рельс.

Для сравнения были выбраны сплошные ходовые колеса двухребордные с цилиндрическим ободом, которые используются практически на всех мостовых кранах и колеса новой конструкции, состоящие из трех слоев и имеющие эластичную вставку, которая изготовлена из специальной резины.

Для проверки полученных ранее теоретических данных был проведен эксперимент на мостовом кране грузоподъемностью 5 т., пролетом 22,5 м., высотой подъема 8 м., режимом работы 7 К. Исследование вибрационного состояния проводилось на балке посередине пролета, на оси ведомого колеса грузовой тележки крана и на оси приводного колеса крана обычной конструкции.

Анализ полученных решений показал, что при использовании ходового колеса с эластичной вставкой динамические факторы при передвижении тележки уменьшаются. Проведенный анализ закономерности формирования вибрационных признаков в разных точках конструкции мостового крана. Предложенная конструкция и методика расчета ходового колеса с эластичной вставкой позволяет повысить его эксплуатационную надежность.

Ключевые слова: колесо ходовое, динамические нагрузки, механизм передвижения, эластичная вставка, грузовая тележка, экспериментальные исследования

Fidrovskа N., Slepugnikov E., Perevoznik I. «Experimental investigations of dynamic loads in the process of operating the crane running wheel with an elastic insert».

The article considers an experimental investigation of dynamic loads which occur while moving the travelling crane truck. Crane wheels are the elements which are mostly prone to wear off. Decrease in their durability leads to the increase of expenditures on maintenance and downtime. Therefore, the increase in durability of crane wheels is a topical issue of contemporary cranebuilding. All running wheels constructions are rigid enough to resist shocks and distortions caused by deviations of the rail track from the recommended values and lead to significant wear and tear of the flanges and rails.

For comparison, we chose solid two-ribbed running wheels with a cylindrical rim, which are used on almost all travelling cranes and wheels of the new design, consisting of three layers and having an elastic insert, which is made of special rubber.

To check the theoretical data obtained earlier, an experiment was carried out on an overhead travelling crane with a capacity of 5 tons, span of 22.5 m, lifting height of 8 m, and operating mode 7 K. The study of the vibration state was carried out on a beam in the middle of the span, on the axle of the driven wheel of the crane truck and on the axle of the drive wheel of the crane of conventional design.

The analysis of the received results showed that when using a running wheel with an elastic insert the dynamic factors when moving a load truck decrease. The analysis of the regularities of vibration signs formation in different points of the travelling crane construction was conducted. The proposed design and calculation procedure of the running wheel with an elastic insert allows increasing its operational reliability.

Keywords: running wheel, dynamic loads, movement mechanism, elastic insert, load truck, experimental studies.

Вступ

Кранове обладнання має велике значення для механізації підйомно-транспортних операцій в різних галузях. Як показує практика, в деяких випадках типове кранове обладнання не має необхідної довговічності роботи [1]. Особливої уваги потребують ходові

колеса кранів мостового типу. Кранові колеса являються найбільш швидко зношуваним елементом крана. Зменшення їх довговічності приводе до підвищення ремонтних витрат і збільшення простоїв крана, які досягають для мостових кранів до 10-12% загального часу простоїв. Витрати, які пов'язані з заміною і відновленням ходових коліс, складають 15-17% від вартості ремонту всього крана.

Огляд рішень, які мають місце

Динамічні зусилля, які виникають при пересуванні вантажних візків вантажних кранів мають достатньо великі значення і їх неможна не враховувати при проектуванні кранів [2, 3]. Особливо вони проявляються під час зносу коліс і рейок при виникненні перекосів на кранах [4, 5].

Всі конструкції ходових коліс являються досить жорсткими і не можуть сприймати ті поштовхи і перекоси, які виникають при відхиленні рейкового шляху від рекомендованих значень і приводять до значного зносу реборд і рейок [6, 7].

Динамічні моделі мостового крану розглянуто в роботі [8]. Автори визначали лінійні коливання моделі, яка дає опис вібрації вантажу і тролей під час руху крану і оцінили сили тертя в системі. Була дана оцінка впливу змінності навантаження на протязі дії сил опору при пересуванні крану. Але в роботі не розглянуто динамічні навантаження в металоконструкції крану при пересуванні.

Можливість модернізувати механізм пересування вантажного візка мостового крана шляхом заміни трьохступінчастого вертикального циліндричного редуктора на двохступінчастий і окремо винесену зубчасту передачу розглянута в роботі [9]. Ходове колесо при цьому безпосередньо встановлено на валу колісної пари візка. Автори стверджують, що така структурна схема зменшить втрати енергії і підвищить надійність. Але при цьому не було досліджено, на скільки зменшаються динамічні навантаження.

Постановка проблеми

Таким чином, покращення роботи та підвищення експлуатаційної надійності кранових ходових коліс являється досить актуальною задачею сучасного кранобудування.

Це дає підстави стверджувати, що проведення дослідження щодо підвищення експлуатаційної надійності та довговічності ходового колеса за рахунок використання еластичних вставок є доцільним.

Мета – дослідження динамічних зусиль, які виникають при роботі обґрунтування раціональної конструкції ходового колеса на основі визначення динамічних зусиль, які виникають при пересуванні вантажного візка та мосту крана.

Викладення основного матеріалу

Дослідження роботи кранового ходового колеса проводилось у межах задачі вибору і аналізу більш досконалої конструкції колеса, яка дозволить значно збільшити його довговічність [10, 11]. Запропонована вдосконалена конструкція ходового колеса з еластичною вставкою приводить до зменшення напружень в колесі і зносу ходової частини і в тому числі реборд [12].

Конструкція складається із декількох шарів (рис. 1), з яких зовнішній зроблений із міцного матеріалу, а середній шар являється маломіцним легким наповнювачем.

Наповнювач являється не тільки зменшеної маси, але має високу міцність і жорсткість, що пояснюється більшим значенням моменту інерції всієї стінки. У порівнянні з одношаровою обшивкою момент інерції може бути збільшеним в багато десятків разів.



Рис. 1. Конструкція кранового ходового колеса з еластичною вставкою
1 – зовнішній шар з міцного матеріалу, 2 – середній шар з легкого наповнювача.

Для проведення експериментального дослідження віброприскорень, що виникають під час руху ходового колеса використовувався комплекс «Ультра-В-І». Загальні характеристики комплексу зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Загальні характеристики комплексу «Ультра-В-І»

Параметр	Значення
Тип сенсора	ADXL250
Принцип вимірювання	Ємнісний
Кількість осей вимірювання	2/3
Робочий діапазон амплітуд, m/s^2	0,2–40
Робочий діапазон частот, Гц	0,1–400
Нелінійність по амплітуді, %	1
Нерівномірність частотної характеристики, %	2
Робочий діапазон температур, °C	0–50
Кількість розрядів АЦП	14
Час автономної роботи, год	2

Вібровимірювальний комплекс розташовувався безпосередньо на об'єкті досліджень – мостовому крані. Датчики було встановлено в контрольних точках візка та крану і за

допомогою розміщених на балці крану дротів з'єднувались із аналого-цифровим перетворювачем, який разом із комп'ютером знаходились в кабіні крану (рис. 2). Останнє дозволяло здійснювати безпосередній контроль над режимами роботи крану (холостий хід, піднімання та переміщення вантажів різної маси із різними швидкостями).



Рис. 2. Розміщення вібровимірювального комплексу

Дослідження вібраційного стану проводилось у трьох контрольних місцях:

- на балці крану по середині прольоту;
- на осі веденого колеса візка крану з еластичною вставкою (рис. 3, *а*);
- на осі приводного колеса візка крану звичайної конструкції (рис. 3, *б*).



Рис. 3. Розміщення датчиків прискорень на осі коліс візка:
а – ведене колесо; *б* – привідне колесо

Відповідно до методики проведення експериментальних досліджень було проведено аналіз закономірності формування вібраційних ознак в різних точках конструкції на режимі холостого ходу крану. Тобто під час руху візка по крану без вантажу. При цьому було розглянуто режими руху візка із різними швидкостями.

На рис. 4 представлено зареєстровані сигнали віброприскорень у вертикальному напрямі на рельсі та на рамі конструкції крану та їх спектральні щільності. Спектральні щільності наведені в логарифмічній шкалі по осі частот.

На записі сигналу віброприскорень на рельсі чітко можна бачити час проїзду візком місця розташування датчика, коли суттєво збільшується рівень сигналу.

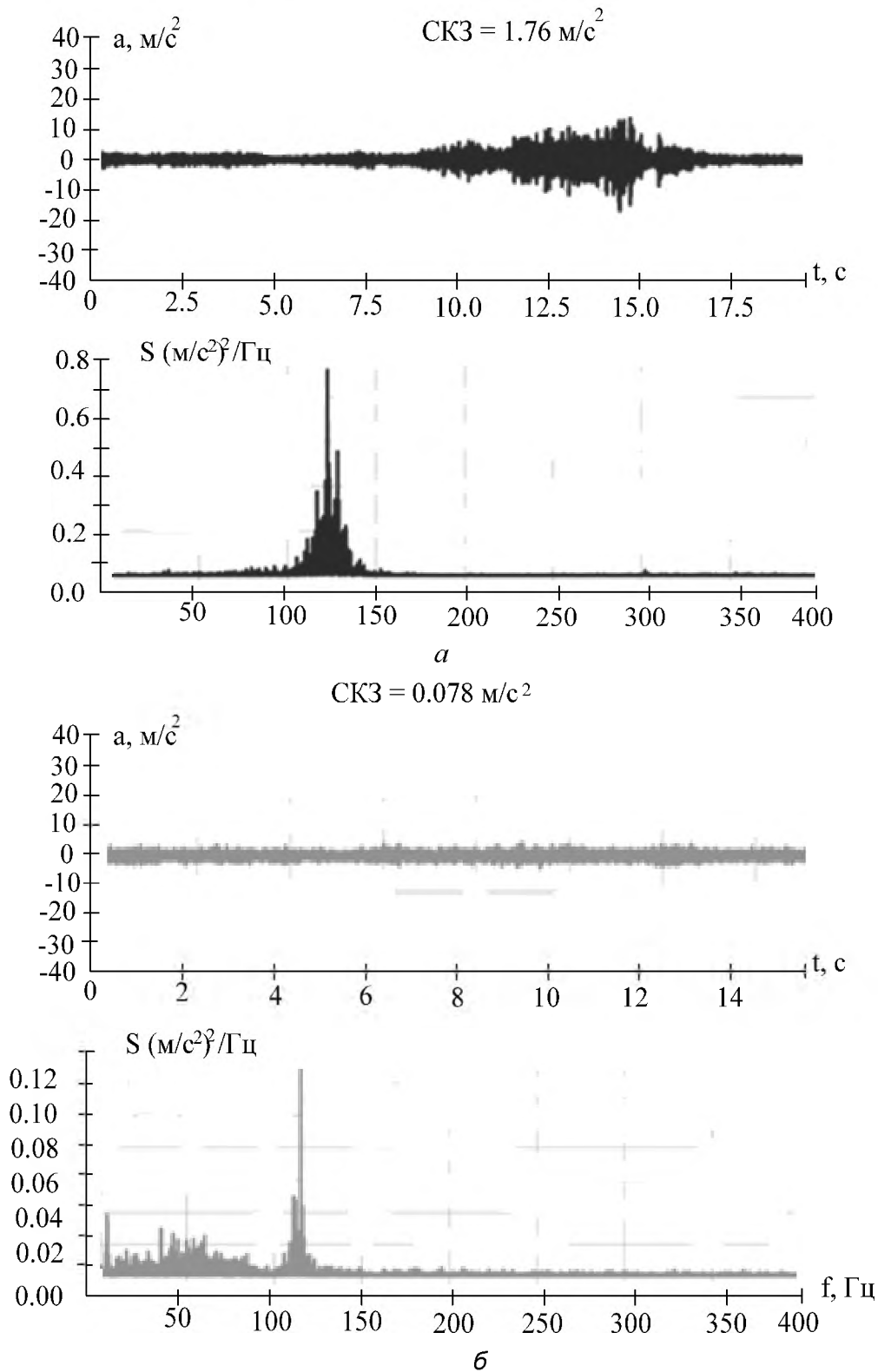


Рис. 4. Віброприскорення у вертикальному напрямі під час холостого ходу візка:
a – віброприскорення на рельсі; *б* – віброприскорення на балці

Аналіз спектрального складу зазначених вібрацій показує те що в спектрах віброприскорень переважають високі частоти із піком у 120 Гц. На балці вираженим є широкополосний шум у діапазоні 30–80 Гц інтенсивність якого зростає зі збільшенням швидкості руху візка. На рис. 5, 6 представлено зареєстровані сигнали та їх спектральний

аналіз для вертикальних (рис. 5) та осьових (рис. 6) вібрацій на осі коліс–привідного та веденого. Слід зазначити, що ведене колесо у даному випадку є модернізованої конструкції та має еластичні вставки.

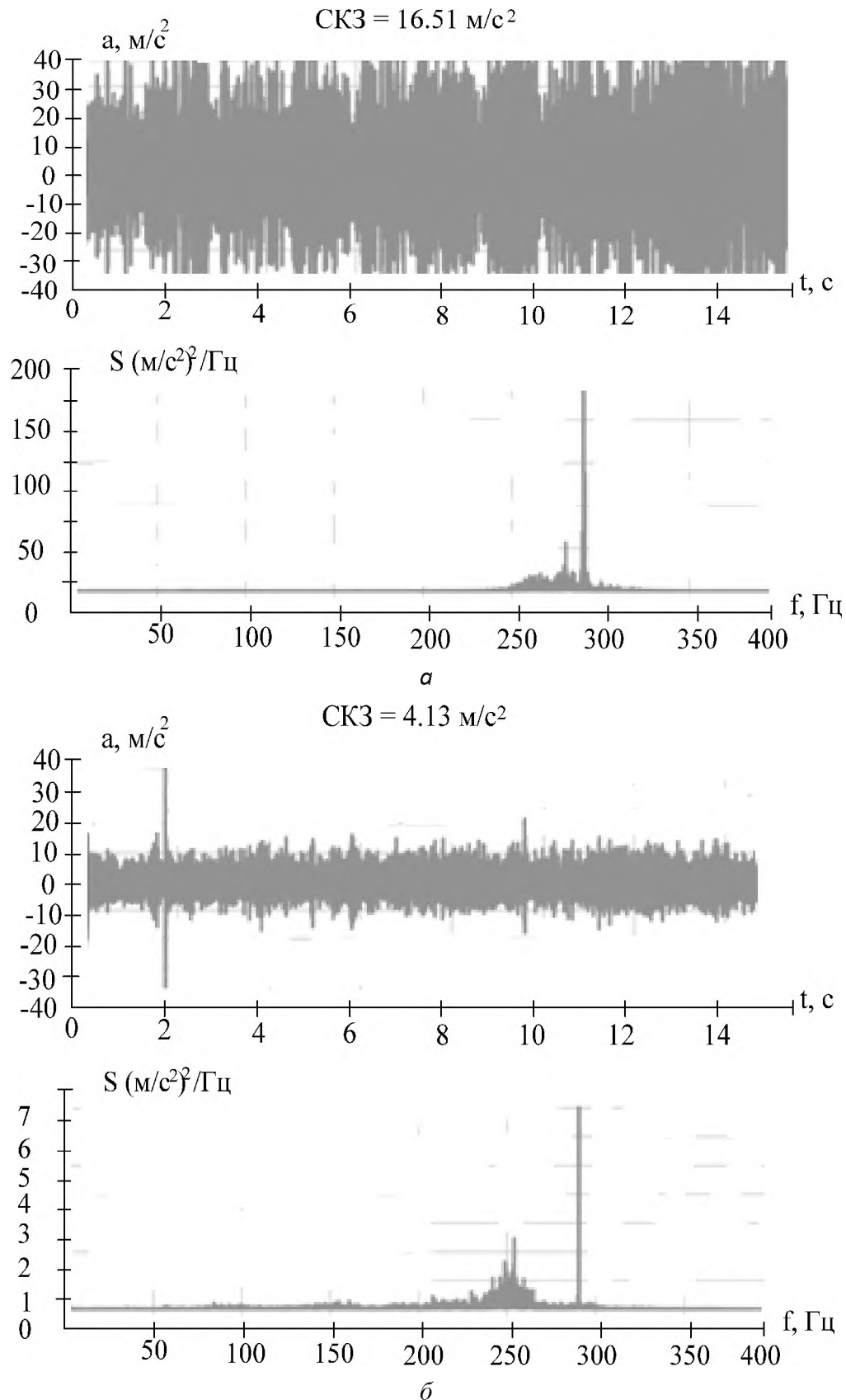


Рис. 5. Віброприскорення у вертикальному напрямі на колесах під час холостого ходу візка на першій швидкості руху: а – привідне колесо; б – ведене колесо

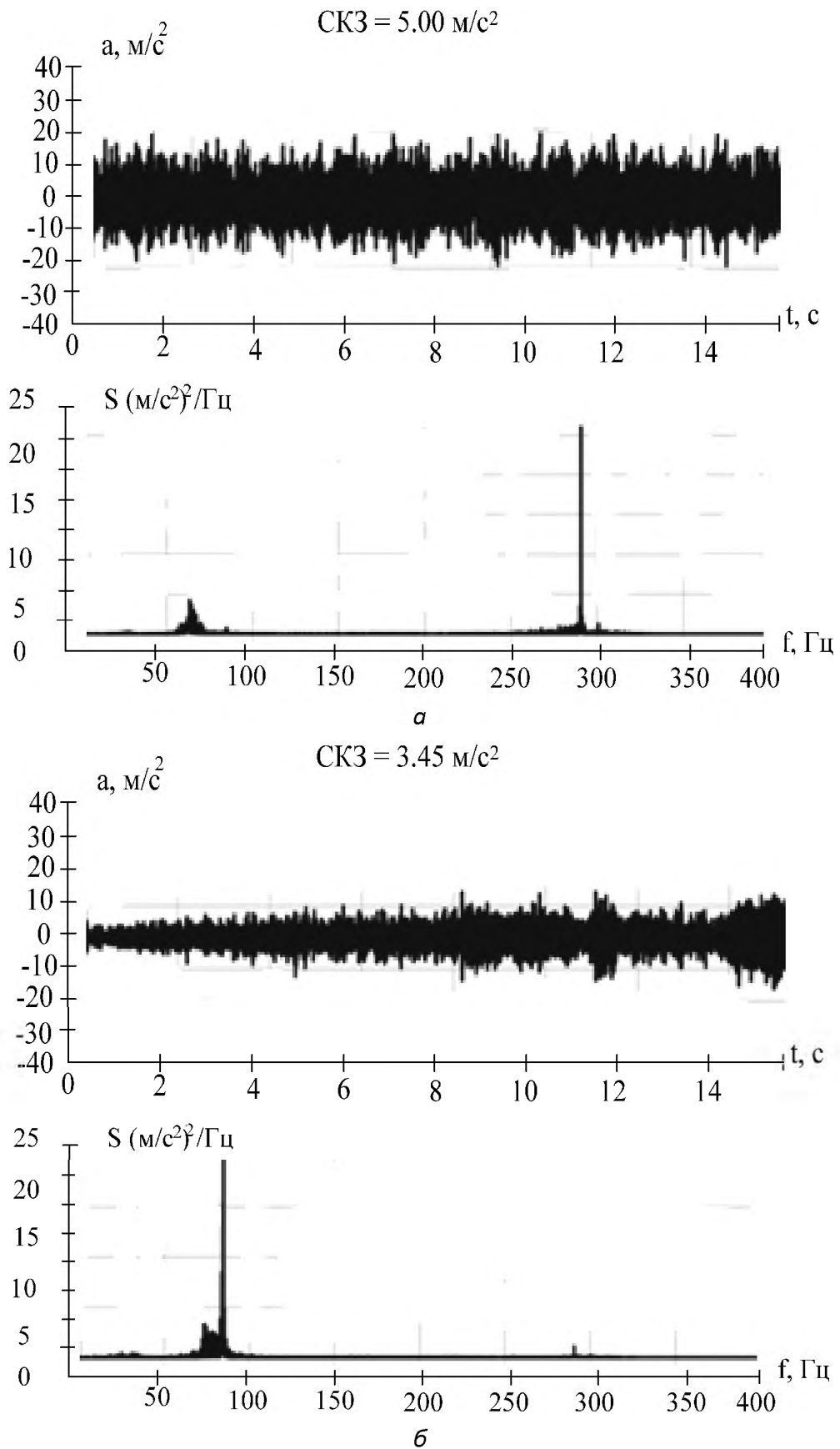


Рис. 6. Віброприскорення у осьовому напрямі на колесах під час холостого ходу візка на першій швидкості руху: а – привідне колесо; б – ведене колесо

Віброприскорення на колесах має очікувано дещо більший рівень та більш високочастотний спектр ніж на рельсі чи крані. Чітко виражені на спектрі вузькочастотні майже гармонічні вібрації із частотою 290 Гц. Вертикальні вібрації на осі привідного колеса мають також широкополосну складову 250–300 Гц.

Рівень віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованому веденому колесі на холостому ході майже в 4 рази менший за рівень віброприскорень на привідному колесі звичайної конструкції. Ситуація є якісно однаковою на двох зареєстрованих швидкостях руху. Зі збільшенням швидкості руху при цьому спостерігається так само як і на рельсі і у балці збільшення рівня вібрацій.

Вібрації у осьовому напрямі (рис. 6) є меншого рівня. Тенденція щодо зменшення віброприскорень на веденому модернізованому колесі тут так само зберігається, але у кількісному вимірі зменшення вібрацій є меншим – в межах 50 %.

Висновки

За результатами визначення динамічних факторів при роботі механізму пересування вантажного візка на базі трьохмасової динамічної системи з урахуванням пружності еластичної вставки розраховано коефіцієнт динамічності. Для штатного ходового колеса коефіцієнт динамічності дорівнює 1,65, а для ходового колеса з еластичною вставкою 1,1.

Результати експериментального дослідження формування вібраційних ознак виникаючих в ходових колесах показують, що застосування еластичної вставки значно зменшує їх рівень. Так співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс складає 45 %, а співвідношення осьових вібрацій від модернізації коліс складає 39 %.

Література

1. Haniszewski T. Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation / T. Haniszewski // *Journal of vibroengineering*. – 2017. – Vol. 19, Iss. 1. – Pp. 75–86.
2. Слепужніков Є. Д. Визначення динамічних навантажень при пересуванні вантажного візка мостового крана / Є. Д. Слепужніков // *Машинобудування : зб. наук. пр.* – Харків : УПА, 2015. – № 16. – С. 34–37.
3. Romacevych Y. Closed-loop Optimal Control Of A System „trolley - Payload” / Y. Romacevych, V. Loveikin, O. Stekhno // *Scientific Bulletin. Series D : Mechanical Engineering*. – 2019. – Vol. 81, Iss. 2. – Pp. 5–12.
4. On wheel rolling along the rail regime with longitudinal load / V. P. Franchuk, K. A. Ziborov, V. V. Krivda [et al.] // *Науковий вісник НГУ*. – 2017. – № 3. – Pp. 62–67.
5. Markine V. Effect of wheel–rail terface parameters on contact stability in explicit finite element analysis / V. Markine, A. Mashal, M. Ren // *Proc IMechE. Part F : J Rail and Rapid Transit*. – 2018. – Vol. 232 (6). – Pp. 1879–1894.
6. Konowrocki R. Analysis of rail vehicles’ operational reliability in the aspect of safety against derailment based on various methods of determining the assessment criterion / R. Konowrocki, A. Chojnacki // *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. – 2020. – Vol. 22, No.1. – Pp. 73–85.
7. Improving performance of finite element simulations on wheel-rail interaction using a coupling strategy / Y. Ma, V. Markine, A. Mashal, [et al.] // *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*. – 2018. – Vol. 232, Iss. 61. – Pp. 1741–1757.
8. Mathematical and S-models of cargo oscillations during movement of bridge crane / S. V. Raksha, P. G. Anofriev, V. M. Bohomaz [et al.] // *Науковий вісник НГУ*. – 2019. – № 2. – Pp. 108–115.
9. Артамонов Д. Н. Модернизация механизма передвижения тележки мостового крана / Д. Н. Артамонов, А. М. Петров // *Молодой исследователь*. – 2017. – Вып. 5 (8). – С. 12–16.
10. Fidrovskaya N. 2019. A contact problem solution with taking into account shear deformations / N. Fidrovskaya, E. Slepuzhnikov, I. Perevoznik // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. – 2019. – Vol. 23, Iss. 193. – Pp. 80–81.
11. Слепужніков Є. Д. Расчет трехслойной цилиндрической конструкции / Є. Д. Слепужніков // *Горная механика и машиностроение*. – 2016. – № 1. – С. 62–65.
12. Фідровська Н. М. Динамічні навантаження при пересуванні ходових коліс з гумовими вставками / Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков, О. В. Чернишенко // *Машинобудування : зб. наук. пр.* – Харків : УПА, 2015. – № 15. – С. 87–91.

References

1. Haniszewski, T 2017, 'Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation', *Journal of vibroengineering*, vol. 19, iss. 1, pp. 75-86.
2. Slepuzhnikov, YeD 2015, 'Vyznachennia dynamichnykh navantazhen pry peresuvanni vantazhnoho vizka mostovoho krana', *Mashynobuduvannia, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv*, no. 16, pp. 34-37.
3. Romacevych, Y, Loveikin, V & Stekhno, O 2019, 'Closed-loop Optimal Control Of A System trolley-Payload', *Scientific Bulletin, Series D Mechanical Engineering*, vol. 81, iss. 2, pp. 5-12.
4. Franchuk, VP, Ziborov, KA, Krivda, VV & Fedoriachenko, SO 2017, 'On wheel rolling along the rail regime with longitudinal load', *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 3, pp. 62-67.
5. Markine, V, Mashal, A & Ren, M 2018, 'Effect of wheel-rail terface parameters on contact stability in explicit finite element analysis', *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*, vol. 232 (6), pp. 1879-1894.
6. Konowrocki, R & Chojnacki, A 2020, 'Analysis of rail vehicles operational reliability in the aspect of safety against derailment based on various methods of determining the assessment criterion', *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, vol. 22, no. 1, pp. 73-85.
7. Ma, Y, Markine, V, Mashal, A et al. 2018, 'Improving performance of finite element simulations on wheel-rail interaction using a coupling strategy', *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*, vol. 232, iss. 6, pp. 1741-1757.
8. Raksha, SV, Anofriev, PG, Bohomaz, VM & Kuropiatnyk, OS 2019, 'Mathematical and S-models of cargo oscillations during movement of bridge crane', *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 2, pp. 108-115.
9. Artamonov, D 2017, 'Modernizaziya mehanizma peredviqeniya teleqki mostovoho krana', *Molodoy issledovatel*, iss. 5 (8), pp. 12-16.
10. Fidrovska, N, Slepuzhnikov, E & Perevoznik, I 2019, 'A contact problem solution with taking into account shear deformations', *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, vol. 23, iss. 193, pp. 80-81.
11. Slepuzhnikov, E 2016, 'Raschet trehslojnoj cilindricheskoj konstrukcii', *Gornaja mehanika i mashinostroenie*, no. 1, pp. 62-65.
12. Fidrovska, N, Slepugnikov, E & Chernishenko, A 2015, 'Dynamichni navantazhennia pry peresuvanni khodovykh kolis z humovymy vstavkamy', *Mashynobuduvannia, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv*, no. 15, pp. 87-91.

Стаття надійшла до редакції 28 січня 2020 р.