

DOI 10.32820/2079-1747-2020-26-18-32

УДК 621.162

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ НАПРЯМІ НА МОДЕРНІЗОВАНИХ ХОДОВИХ КОЛЕСАХ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНА**Фідровська Н.М.¹, Слепужніков Є.Д.²***Харківський національний автомобільно-дорожній університет¹**Національний університет цивільного захисту України²***Інформація про авторів:**

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; nfidrovskaya@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@nuczu.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології; Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна

В статті розглянуто експериментальні дослідження віброприскорень, які виникають в осі ходових коліс, при пересуванні вантажного візка мостового крана. Кранові колеса найбільш швидко зношуваний елемент крана. Зменшення їхньої роботи приводе до збільшення ремонтних витрат. Тому, підвищення довговічності кранових ходових коліс за рахунок їхньої модернізації, являється досить актуальною задачею для сучасного кранобудування. Всі конструкції кранових ходових коліс досить жорсткі і не сприймають поштовхи і перекося виникаючі при відхиленні рейкового шляху від рекомендованих значень та приводять до значного зносу реборд і рейок.

Для порівняння були вибрані двохребордні суцільні ходові колеса з циліндричним ободом. Такі колеса застосовуються практично на всіх мостових кранах. Також для експериментального дослідження були виготовлені колеса модернізованої конструкції. Модернізовані колеса складаються з трьох шарів і мають еластичну гумову вставку, яка виготовлена із резини технічної суміші.

Для перевірки теоретичних даних, які були отримані раніше, 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 осі веденого штатного ходового колеса вантажного візка мостового крана та на осі веденого модернізованого ходового колеса вантажного візка мостового крана.

Аналіз рішень, які були отримані показав, що при застосуванні модернізованого ходового колеса з еластичною гумовою вставкою динамічні фактори при пересуванні вантажного візка мостового крана зменшуються. Проведено аналіз закономірності формування вібраційних ознак під час руху вантажного візка мостового крана на різних швидкостях, а також на різних його робочих режимах.

Запропонована модернізована конструкція ходового колеса з еластичною гумовою вставкою дозволяє підвищити його експлуатаційну надійність та зменшити формування віброприскорень у вертикальному напрямі.

Ключові слова: колесо ходове, віброприскорення, вантажний візок, гумова вставка, мостовий кран.

Фидровская Н.Н., Слепужников Е.Д. „Экспериментальные исследования виброускорений в вертикальном направлении на модернизированных ходовых колесах грузовой тележки мостового крана“.

В статье рассмотрены экспериментальные исследования виброускорений, которые возникают в оси ходовых колес, при передвижении грузовой тележки мостового крана. Крановые колеса наиболее быстро изнашиваемый элемент крана. Уменьшение их работы приводит к увеличению ремонтных затрат. Поэтому, повышение долговечности крановых ходовых колес за счет их модернизации, является весьма актуальной задачей для современного краностроения. Все конструкции крановых ходовых колес достаточно жесткие и не воспринимают толчки и перекосы возникающие при отклонении рельсового пути от рекомендуемых значений, что приводит к значительному износу реборд и рельсов.

Для сравнения были выбраны сплошные двухребордные ходовые колеса с цилиндрическим ободом. Такие колеса применяются практически на всех мостовых кранах. Также для экспериментального исследования были изготовлены колеса модернизированной конструкции. Модернизированные колеса состоят из трех слоев и имеют эластичную резиновую вставку, которая изготовлена из резинотехнической смеси.

Для проверки теоретических данных, которые были получены ранее, был проведен эксперимент на мостовом кране грузоподъемностью 5 т., пролетом 22,5 м., высотой подъема 8 м., режимом работы 7 К. Исследования вибрационного состояния проводилось на оси ведомого штатного ходового колеса грузовой тележки мостового крана и на оси ведомого модернизированного ходового колеса грузовой тележки мостового крана.

Анализ решений, которые были получены показал, что при применении модернизированного ходового колеса с эластичной резиновой вставкой динамические факторы при передвижении грузовой тележки мостового крана уменьшаются. Проведен анализ закономерности формирования вибрационных признаков во время движения грузовой тележки мостового крана на различных скоростях, а также на различных его рабочих режимах.

Предложенная модернизированная конструкция ходового колеса с эластичной резиновой вставкой позволяет повысить его эксплуатационную надежность и уменьшить формирование виброускорений в вертикальном направлении.

Ключевые слова: колесо ходовое, виброускорение, грузовая тележка, резиновая вставка, мостовой кран.

Fidrovskaya N., Slepuginov E. "Experimental studies on vibration acceleration in the vertical direction on the modernized traveling wheels of the bridge crane truck".

The article discusses experimental studies of vibration accelerations that occur in the axle of the traveling wheels, when moving the cargo carriage of an overhead crane. Crane wheels are the first crane elements to wear out. A decrease in their work leads to an increase in repair costs. Therefore, increasing the durability of crane traveling wheels due to their modernization is a very urgent task for modern crane construction. All designs of crane traveling wheels are quite rigid and do not perceive shocks and distortions that occur when the rail track deviates from the recommended values, which leads to significant wear of the flanges and rails.

For comparison, solid double-ribbed running wheels with a cylindrical rim were selected. These wheels are used in almost all overhead traveling cranes. Also, wheels of a modernized design

were manufactured for experimental research. The upgraded wheels consist of three layers and have an elastic rubber insert made of a rubber compound.

To check the theoretical data that were obtained earlier, an experiment was carried out on an overhead crane with a lifting capacity of 5 tons, a span of 22.5 m., a lifting height of 8 m., an operating mode of 7K. bridge crane trolleys and on the axis of the driven modernized running wheel of the bridge crane cargo trolley.

The analysis of the solutions that were obtained showed that when using a modernized traveling wheel with an elastic rubber insert, the dynamic factors when moving the cargo carriage of an overhead crane decrease. The analysis of the regularity of the formation of vibration signs during the movement of the cargo carriage of an overhead crane at various speeds, as well as in its various operating modes is carried out.

The proposed modernized design of a running wheel with an elastic rubber insert makes it possible to increase its operational reliability and reduce the formation of vibration accelerations in the vertical direction.

Keywords: traveling wheel, vibration acceleration, cargo trolley, rubber insert, bridge crane.

Вступ

Мостові крани являються найбільш застосовуваними вантажопідійомними машинами в умовах сучасного виробництва, тому забезпечення їх надійної і безперебійної роботи являється досить актуальною задачею [1, 2].

Довговічність роботи мостового крана залежить в більшій мірі від довговічності його металоконструкції, яка сприймає досить значні змінні навантаження [3, 4]. Циклічна робота вантажопідійомного крана викликає швидкозмінні процеси навантажень не тільки в часі, але і з величини [5]. Це потребує досить уважного визначення всіх силових факторів, які мають місце при роботі мостового крана, як статичних так і динамічних [6].

Основні навантаження, які виникають в металоконструкції мостового крана, виникають при підйомі вантажу і роботі механізмів пересування вантажного візка і мосту [7, 8]. Оцінці впливу конструктивних параметрів механізмів пересування на динамічні навантаження в металоконструкції присвячено багато робіт [9, 10]. Нами була запропонована нова конструкція ходового кранового колеса з пружною вставкою [11, 12], що дозволило значно зменшити динамічні навантаження при роботі механізму пересування [13].

Постановка проблеми

Динамічні моделі мостового крану розглянуто в роботі [14]. 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 [15]. 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 зменшуються динамічні навантаження.

Результати експериментальних досліджень появи бокових сил в мостовому крані, які змінюються в процесі руху наведені в роботі [16]. Було встановлено, що експериментальні значення бокових сил менші, ніж визначені теоретично. Було б доцільним розглянути колеса не тільки з циліндричним профілем, але і з конічним, що забезпечить менші бокові сили.

Оптимальний хімічний склад сталі і технологію технічної обробки для ходових коліс шахтних вагонеток запропоновано в роботі [17]. Автори запевняють що це має підвищити зносостійкість коліс, але зменшення динамічних зусиль не розглядається. Було б доцільним провести теоретичні дослідження, які б дозволили більш суттєво оцінювати зносостійкість коліс.

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

Метою дослідження є обґрунтування доцільності модернізації конструкції ходового колеса на основі вібраційних ознак виникаючих в ходовому колесі.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- провести експериментальне дослідження формування віброприскорень у вертикальному напрямі в колесах штатної конструкції;
- провести експериментальне дослідження формування віброприскорень у вертикальному напрямі в колесах модернізованої конструкції.

Матеріали і методи досліджень

Для вимірювання віброприскорень, що виникають підчас проведення натурних випробувань візка мостового крану використовувався комплекс «Ультра-В-І» (рис. 1).

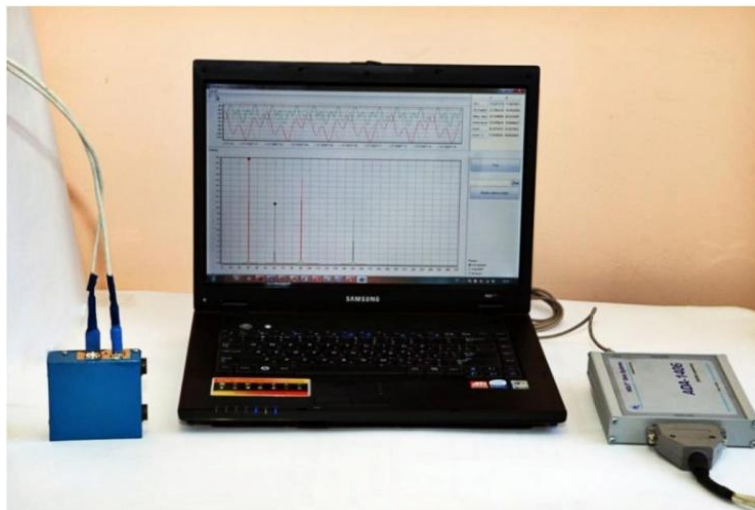


Рис. 1. Загальний вигляд вібровимірювального комплексу «Ультра-В-І»

Програмне забезпечення, що входить до складу вібровимірювального комплексу дозволяє в реальному часі будувати залежності віброприскорень від частоти, а також визначати спектральний склад сигналу. Загальні характеристики комплексу зведені в таблицю 1.

Загальні характеристики вимірювального комплексу

Параметр	Значення
Тип сенсора	ADXL250
Принцип вимірювання	Ємнісний
Кількість осей вимірювання	2/3
Робочий діапазон амплітуд, м/с ²	0,2-40
Робочий діапазон частот, Гц	0,1-400
Нелінійність по амплітуді, %	1
Нерівномірність частотної характеристики, %	2
Робочий діапазон температур, оС	0-50
Кількість розрядів АЦП	14
Час автономної роботи, год	2

Дослідження проводились на діючому мостовому крані. Вібровимірювальний комплекс розташовувався безпосередньо на об'єкті досліджень. Датчики було встановлено в контрольних точках вантажного візка крану та за допомогою розміщених на балці крану дротів з'єднувались із аналого-цифровим перетворювачем. Останнє дозволяло здійснювати безпосередній контроль над режимами роботи крану.

Дослідження вібраційного стану проводилось на осі веденого штатного ходового колеса вантажного візка мостового крану (рис. 2, *а*) та на осі веденого модернізованого ходового колеса вантажного візка мостового крану (рис. 2, *б*).



а



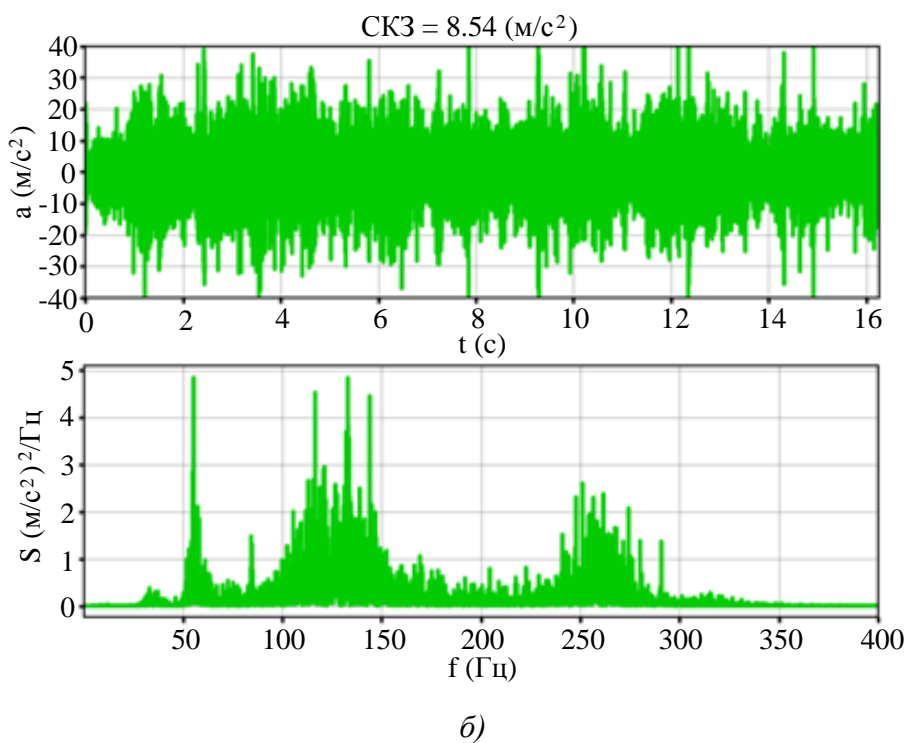
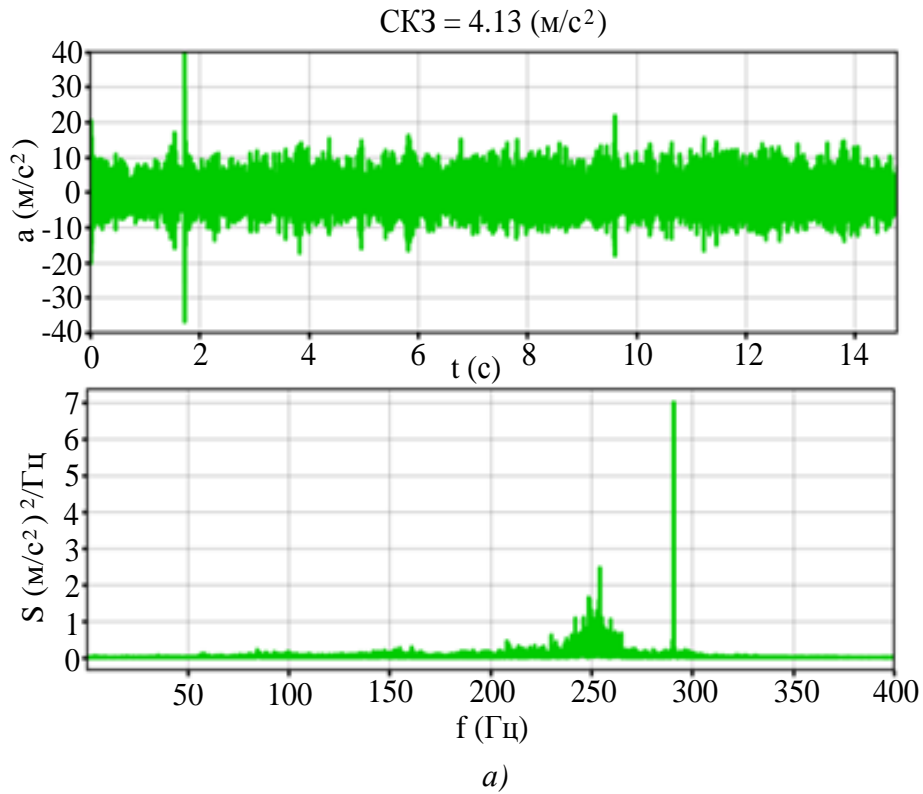
б

Рис. 2. Розміщення датчиків прискорень на осі коліс вантажного візка
а – штатне ходове колесо; *б* – модернізоване ходове колесо

Вимірювання вібрацій проводилось на різних швидкостях руху візка по мосту крану, а також на різних його робочих режимах.

Результати дослідження

За підсумками експериментальних досліджень зробимо узагальнення результатів віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованому (з еластичною, гумовою вставкою) та штатному ведених колесах (рис. 3–5).



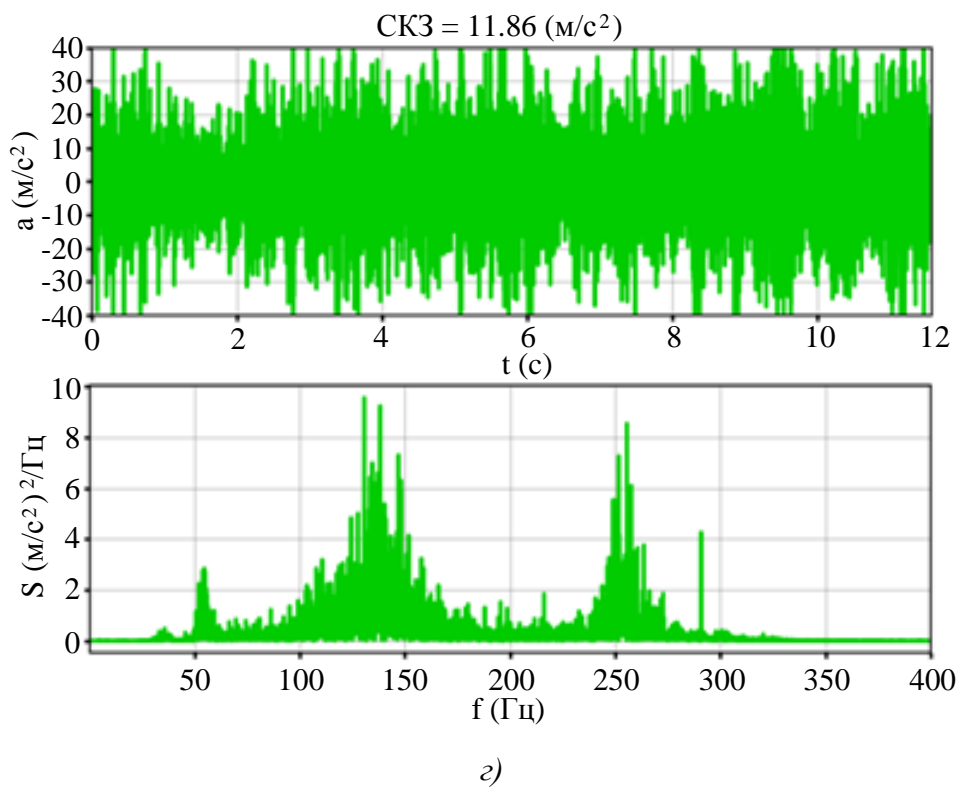
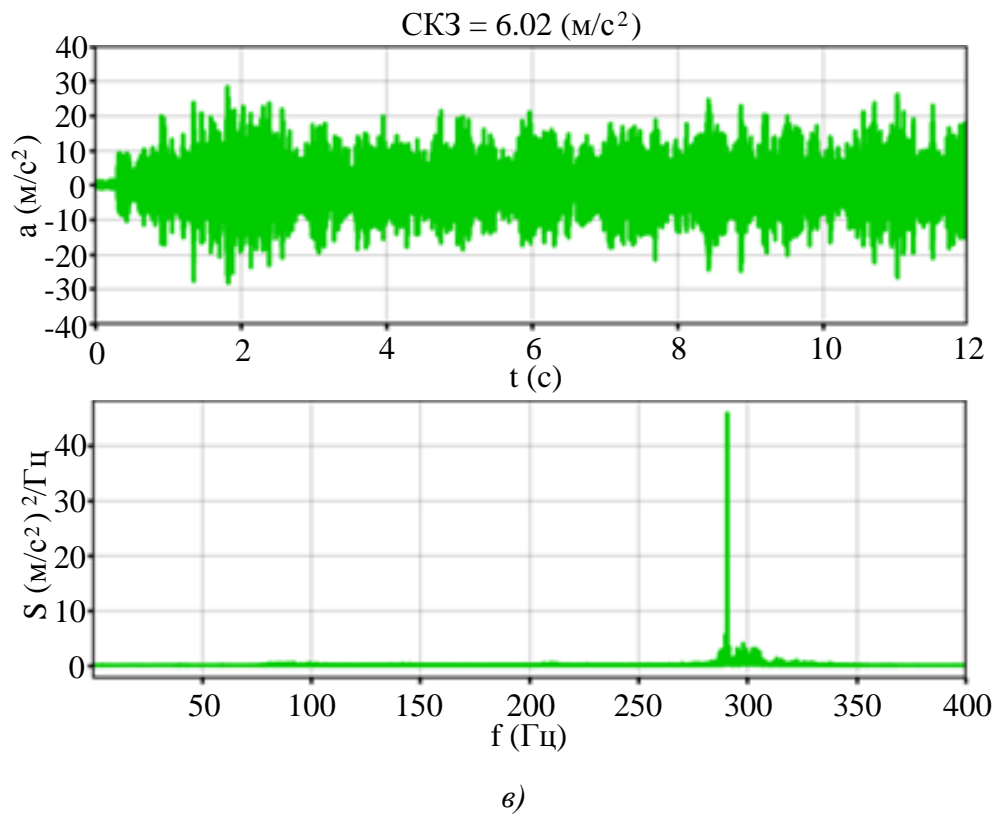
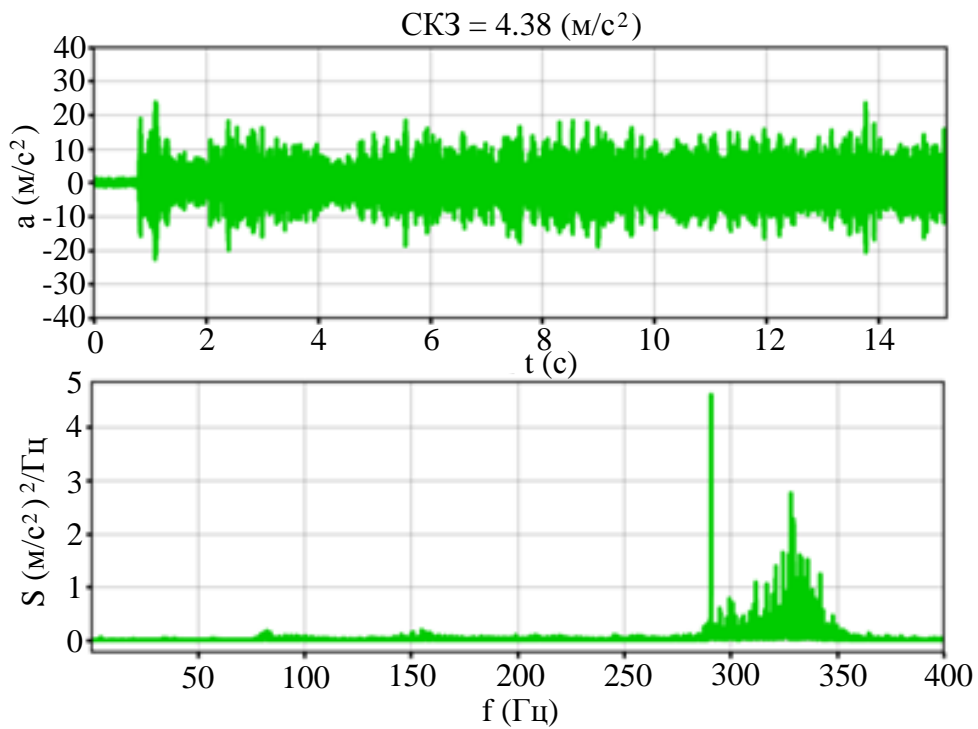
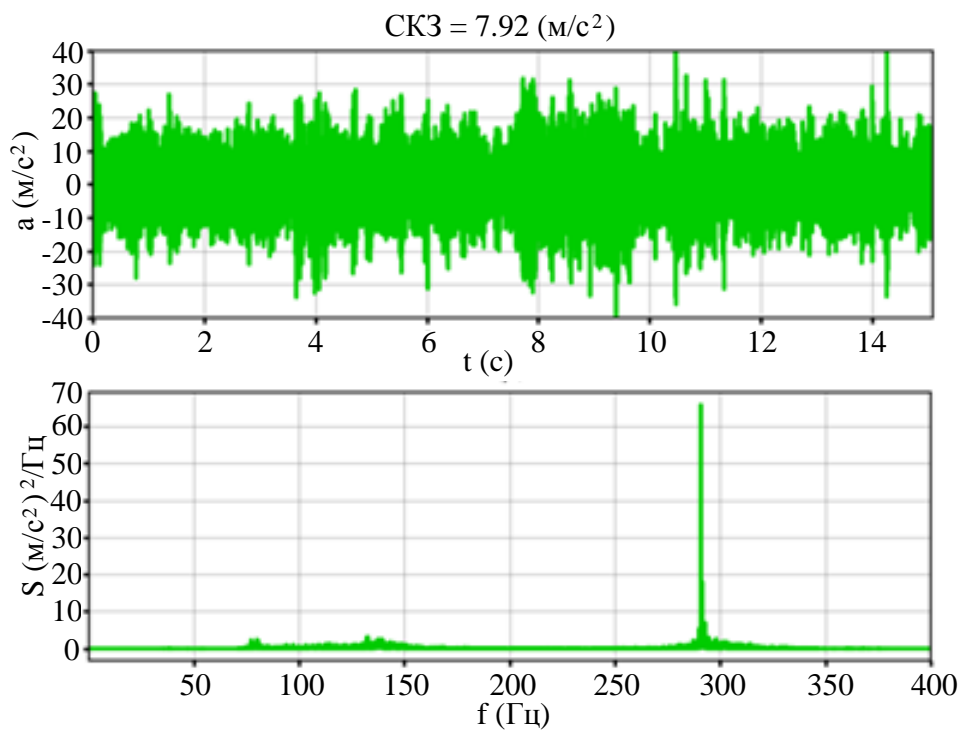


Рис. 3. Віброприскорення у вертикальному напрямі на колесах під час холостого ходу візка на 1-ій а, б та 2-ій в, г швидкостях руху. а, в – модернізоване колесо; б, г – штатне колесо



a)



б)

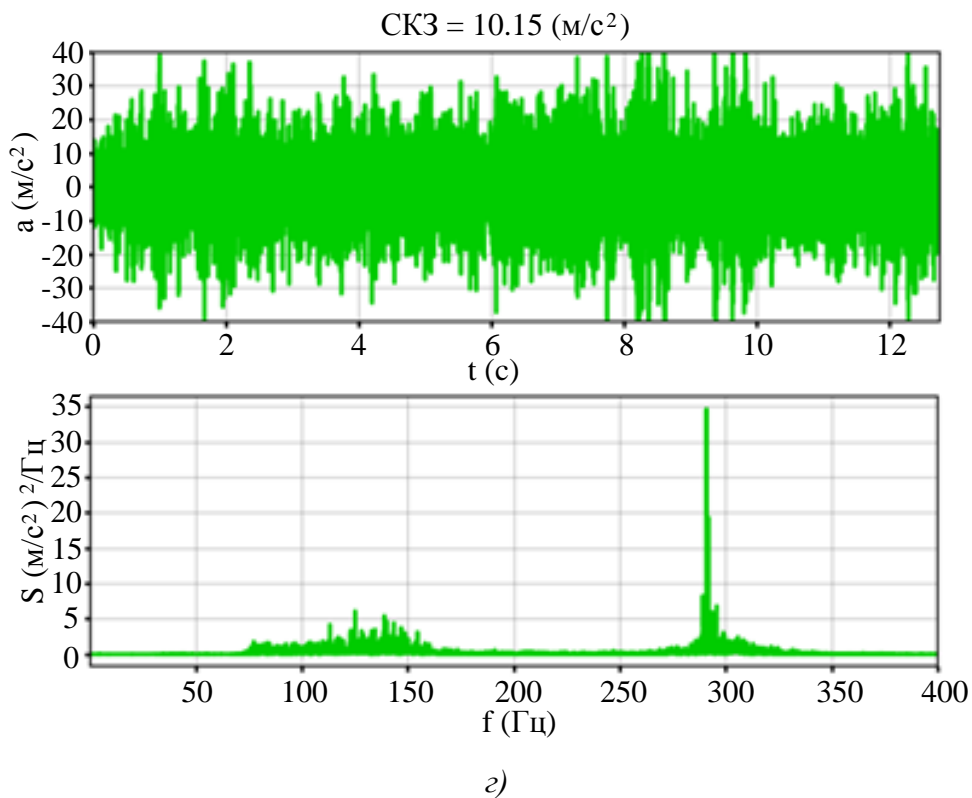
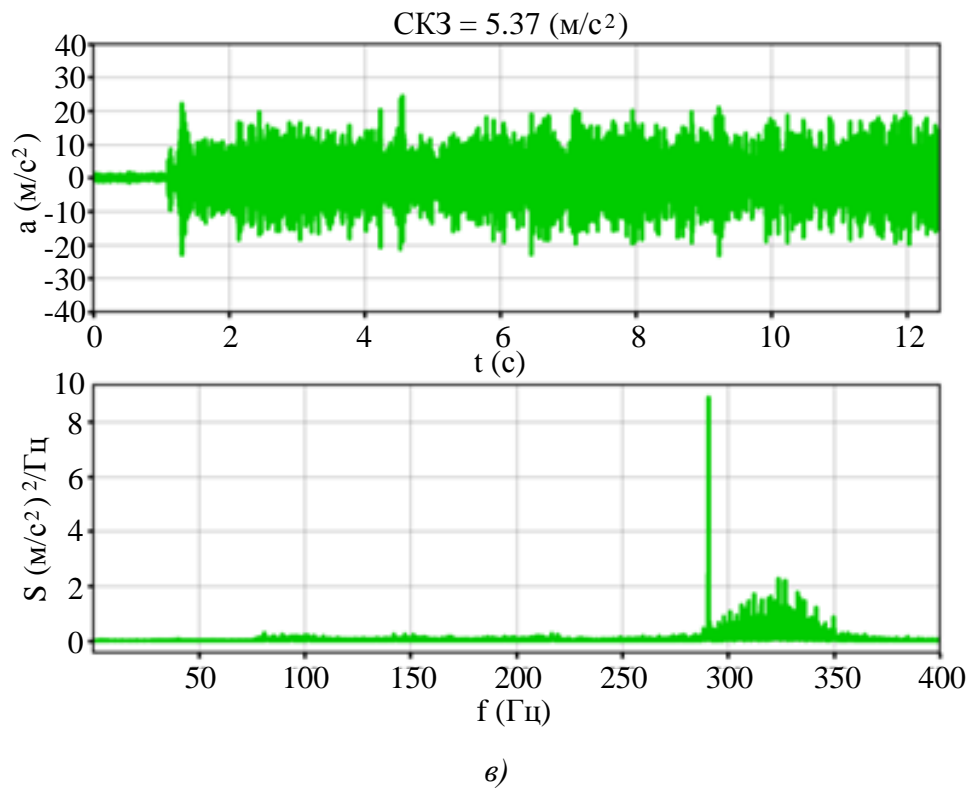
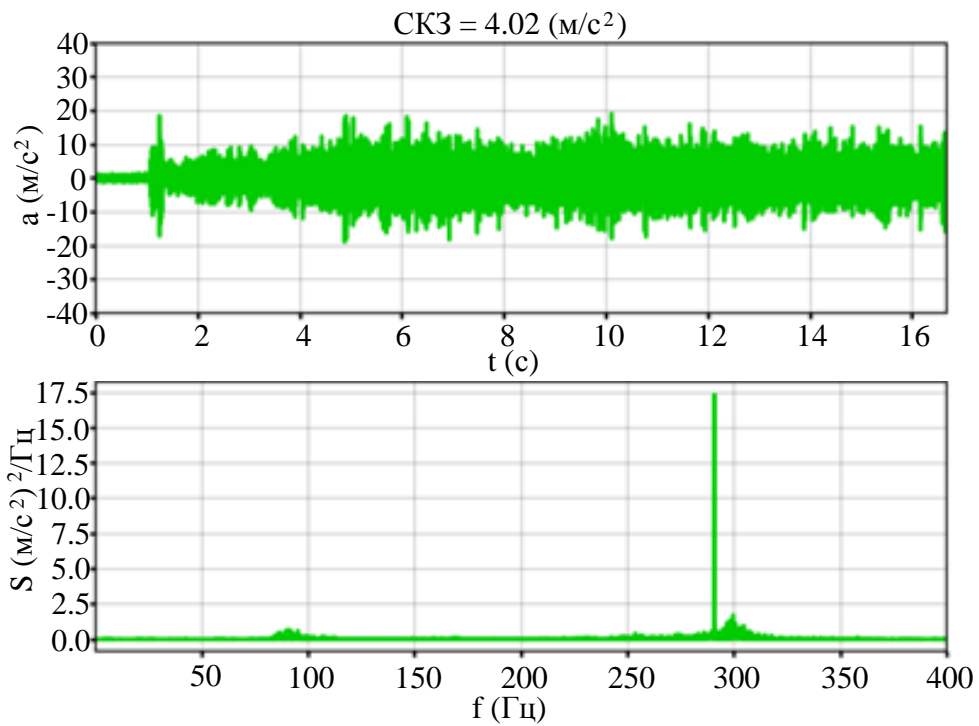
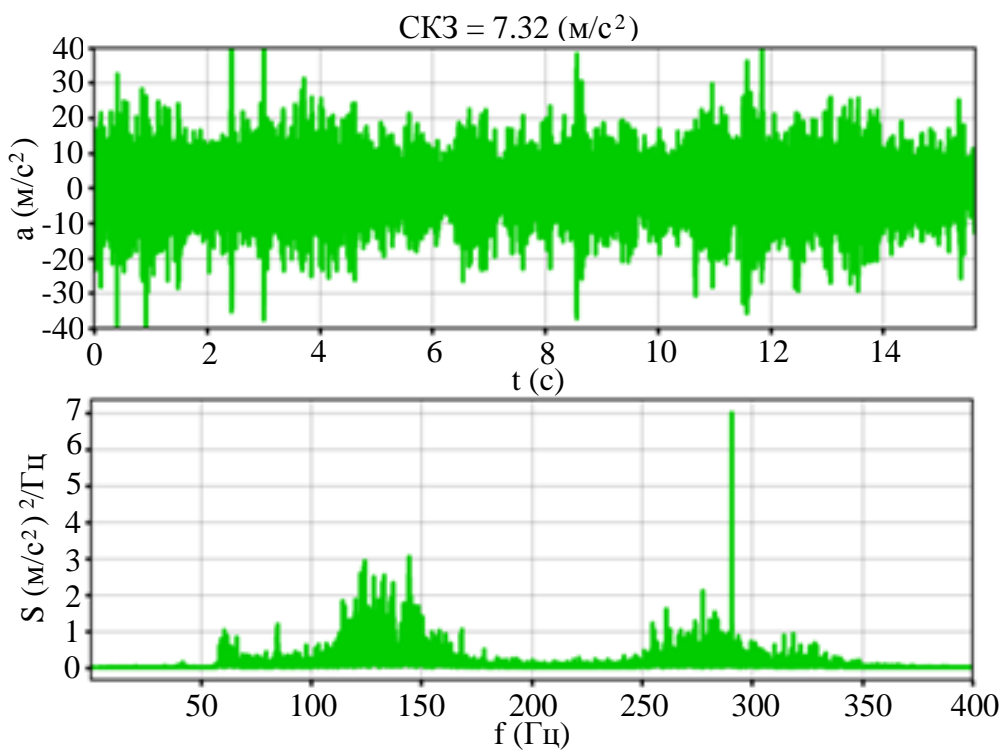


Рис. 4. Віброприскорення у вертикальному напрямі на колесах під час перевезення вантажу 0.5 тони на 1-ій а, б та 2-ій в, г швидкостях руху.
а, в – модернізоване колесо; б, г – штатне колесо

*a)**б)*

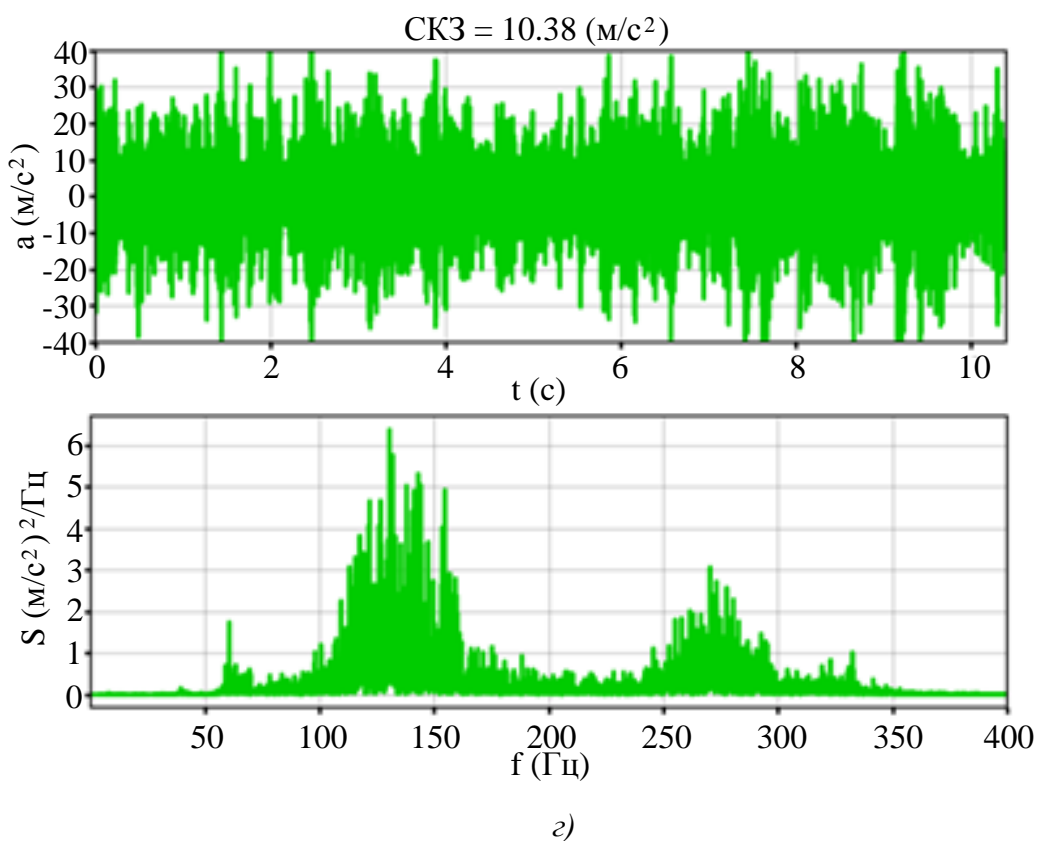
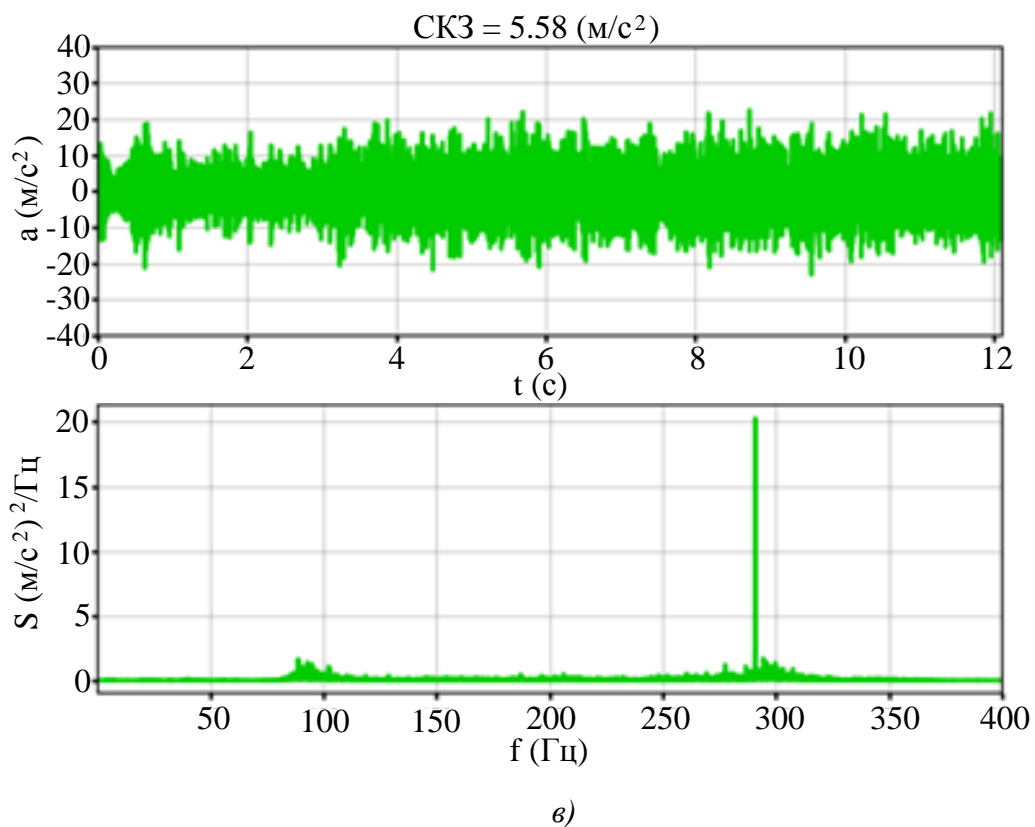


Рис. 5. Віброприскорення у вертикальному напрямі на колесах під час перевезення вантажу 2 тони на 1-ій а, б та 2-ій в, г швидкостях руху.
а, в – модернізоване колесо; б, г – штатне колесо

Результати отриманих експериментальних досліджень формування вібраційних ознак виникаючих в ходових колесах показують, що застосування еластичної гумової вставки значно зменшує їх рівень.

Обговорення результатів

Згідно отриманих даних експериментальних досліджень зробимо гістограму віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованому (з еластичною, гумовою вставкою) та штатному ведених колесах вантажного візка мостового крана на 1-ій швидкості руху (рис. 6).

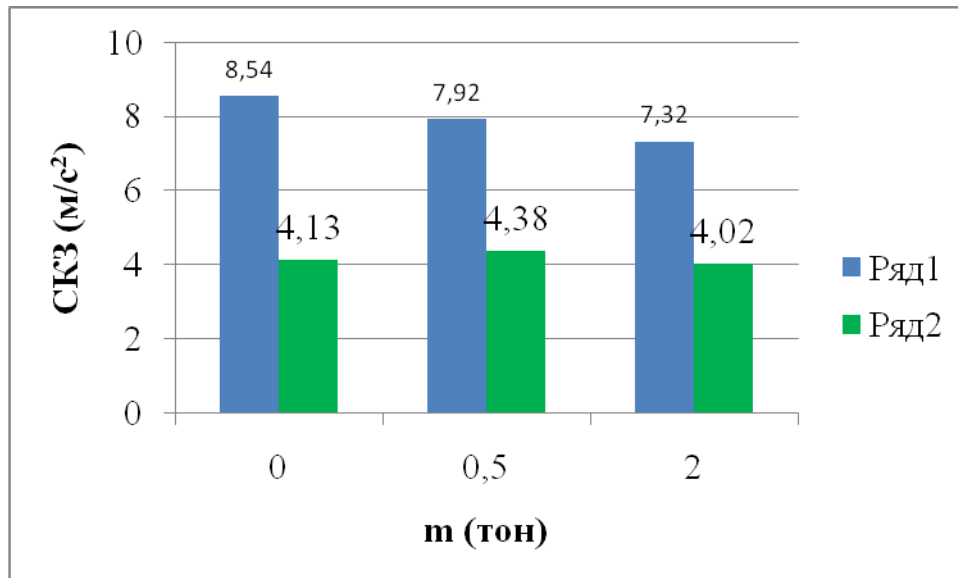


Рис. 6. Гістограма віброприскорень у вертикальному напрямі на ведених колесах вантажного візка мостового крана на 1-ій швидкості руху, ряд 1 – штатне колесо, ряд 2 – модернізоване колесо

За підсумками узагальнення результатів віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованому (з еластичною гумовою вставкою) та штатному ведених колесах проведемо розрахунок процентного співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс на 1-ій швидкості вантажного візка мостового крану, таблиця 2.

Таблиця 2

Процентні співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс на 1-ій швидкості

Параметри	Значення		
Маса (тон)	0,0	0,5	2,0
СКЗ штатних коліс (м/с ²)	8,54	7,92	7,32
СКЗ модернізованих коліс (м/с ²)	4,13	4,38	4,02
Співвідношення (%)	51,64	44,70	45,08

Згідно отриманих даних експериментальних досліджень зробимо гістограму віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованому (з еластичною гумовою вставкою) та штатному ведених колесах вантажного візка мостового крана на 2-ій швидкості руху (рис. 7).

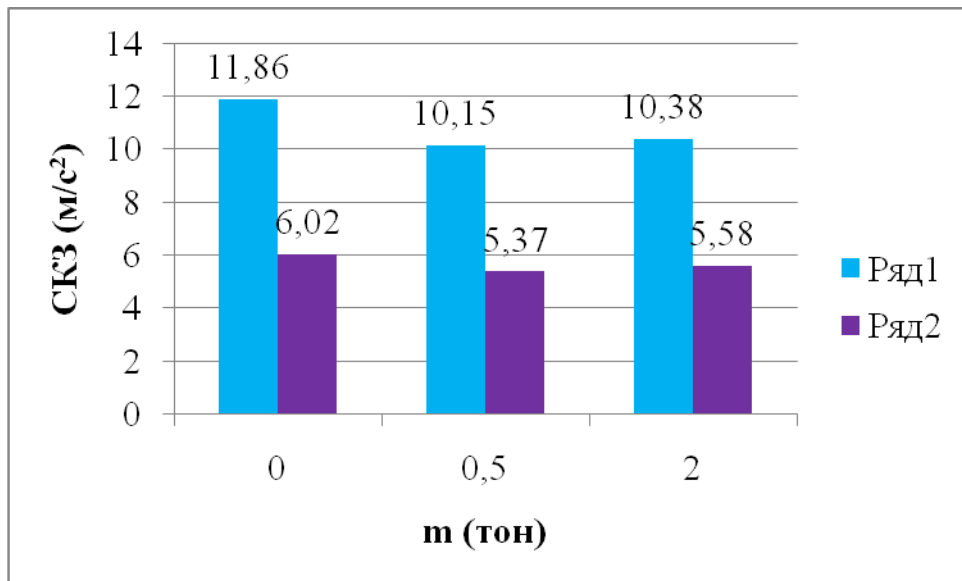


Рис. 7. Гістограма віброприскорень у вертикальному напрямі на ведених колесах вантажного візка мостового крана на 2-ій швидкості руху, ряд 1 – штатне колесо, ряд 2 – модернізоване колесо

За підсумками узагальнення результатів віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованому (з еластичною, гумовою вставкою) та штатному ведених колесах проведемо розрахунок процентного співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс на 2-ій швидкості вантажного візка мостового крана, таблиця 3.

Таблиця 3

Процентні співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс на 2-ій швидкості

Параметри	Значення		
	0,0	0,5	2,0
Маса (тон)	0,0	0,5	2,0
СКЗ штатних коліс (м/с ²)	11,86	10,15	10,38
СКЗ модернізованих коліс (м/с ²)	6,02	5,37	5,58
Співвідношення (%)	49,24	47,09	46,24

Проведене експериментальне дослідження підтверджує доцільність впровадження модернізованих коліс з еластичною гумовою вставкою на мостових кранах.

В подальшому необхідно провести експериментальне дослідження віброприскорення у осьовому напрямі на штатних та модернізованих колесах.

Висновки

Співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс під час пересування вантажного візка на першій швидкості руху складає: під час холостого ходу вантажного візка – 51,64 %; під час перевезення вантажу 0,5 тони – 44,70 %; під час перевезення вантажу 2,0 тони – 45,08 %.

Співвідношення вертикальних вібрацій від модернізації коліс під час пересування вантажного візка на другій швидкості руху складає: під час холостого ходу вантажного візка – 49,24 %; під час перевезення вантажу 0,5 тони – 47,09 %; під час перевезення вантажу 2,0 тони – 46,24 %.

Список використаних джерел

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. – P. 75–86. doi: <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17310>
2. Analysis of the structural girders of a crane for the license renewal of a BWR Nuclear Power Plant. / J. C. Castro, E. H. Palafox, L. H. Gómez, G. S. Mendoza, Y. L. Grijalba, P. R. López // *Procedia Structural Integrity*. – 2019. – Vol. 17. – P. 115–122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.016>
3. Research on welding deformation for box girder of bridge crane based on thermal elasto-plastic theory. / T. Yifei, G. Zhihao, Z. Xingcheng, S. Guomin, L. Dongbo, L. Xiangdong // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2018. – Vol. 10, № 5. – P. 1–12. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814018775885>
4. Dynamic reaction forces of an overhead crane on lifting. / B. Spruogis, A. Jakstas, V. Turla, I. Iljin, N. Sesok // *TRANSPORT*. – 2011. – Vol. 26, № 3. – P. 279–283. doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.622144>
5. Qin, Y. High precision analysis of stress concentration in girder structure of casting crane. / Y. Qin, J. Jiang, H. Yang // *International Journal of Science and Qualitative Analysis*. – 2016. – Vol. 2, № 2. – P. 14–18. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijjsqa.20160202.11>
6. Modeling the resonance of a swinging spring based on the synthesis of a motion trajectory of its load. / L. Kutsenko, V. Vanin, O. Shoman, P. Yablonskiy, L. Zapolskiy, N. Hrytsyna, S. Nazarenko, V. Danylenko, E. Sivak, S. Shevchenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 3/7, № 99. – P. 53–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168909>
7. Development of a method for computer simulation of a swinging spring load movement path. / L. Kutsenko, O. Semkiv, A. Kalynovskiy, L. Zapolskiy, O. Shoman, G. Virchenko, V. Martynov, M. Zhuravskij, V. Danylenko, N. Ismailova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 1, № 7-97. – P. 60–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154191>
8. Synthesis and classification of periodic motion trajectories of the swinging spring load. / L. Kutsenko, V. Vanin, O. Shoman, L. Zapolskiy, P. Yablonskiy, S. Vasyliiev, V. Danylenko, E. Sukharkova, S. Rudenko, M. Zhuravskij // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 2, № 7–98. – P. 2–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.161769>
9. Meng W. Reliability analysis-based numerical calculation of metal structure of bridge crane. / W. Meng, Z. Yang, X. Qi, J. Cai // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2013. – Vol. 2013, № 1–5. – P. 1–5. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/260976>
10. Haniszewski T. Strength analysis of overhead traveling crane with use of finite element method. / T. Haniszewski // *Transport problems*. – 2014. – Vol. 9, № 1. – P. 19–26. <https://www.researchgate.net/publication/276235576>
11. Фідровська Н. М. Міцність трьохшарової циліндричної оболонки. / Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков, О. В. Чернишенко // *Науковий вісник будівництва*. – 2015. – Вип. 1, № 79. – С. 190–193. <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7456>
12. Фідровська Н. М. Визначення оптимальних параметрів ходових коліс мостових кранів. / Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков // *Науковий вісник будівництва*. – 2012. – Вип. 69. – С. 215–222. <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7436>
13. Increase of operating reliability of the travel wheel using the use of the elastic inserts. / N. Fidrovskaya, E. Slepuzhnikov, O. Larin, I. Varchenko, V. Lipovyi, K. Afanasenko, S. Harbuz // *EUREKA: Physics and Engineering*. – 2020. – Vol. 5, № 30. – P. 69–79. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001387>
14. 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 Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2019. – Vol. 2. – P. 108–115. doi: [10.29202/nvngu/2019-2/16](https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-2/16).

15. Артамонов Д. Н. Модернизация механизма передвижения тележки мостового крана / Д. Н. Артамонов, А. М. Петров // Молодой исследователь. – 2017. – Вып. 5, № 8. – С. 12–16.
16. Zelic A. Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling. / A. Zelic, N. Zuber, R. Sostakov // *Ekspluatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. – 2018. – Vol. 20, № 1. – P. 90–99. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.1.12>
17. Gankevich V. F. Ways to enhance the reliability of wheel pairs of locomotive transport. / V. F. Gankevich, L. V. Gryaznova, A. G. Lisnyak, // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2012. – Vol. 5. – P. 76–79.

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. Castro, JC, Palafox, EH, Gómez, LH, Mendoza, GS, Grijalba, YL & López, PR 2019, 'Analysis of the structural girders of a crane for the license renewal of a BWR Nuclear Power Plant', *Procedia Structural Integrity*, vol. 17, pp. 115-122.
3. Yifei, T, Zhihao, G, Xingcheng, Z, Guomin, S, Dongbo, L & Xiangdong, L 2018, 'Research on welding deformation for box girder of bridge crane based on thermal elasto-plastic theory', *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 5, pp. 1-12.
4. Spruogis, B, Jakstas, A, Turla, V, Iljin, I & Sesok, N 2011, 'Dynamic reaction forces of an overhead crane on lifting', *TRANSPORT*, vol. 26, no. 3, pp. 279-283.
5. Qin, Y, Jiang, J & Yang, H 2016, 'High precision analysis of stress concentration in girder structure of casting crane', *International Journal of Science and Qualitative Analysis*, vol. 2, no. 2, pp. 14-18.
6. Kutsenko, L, Vanin, V, Shoman, O, Yablonskiy, P, Zapolskiy L, Hrytsyna, N, Nazarenko, S, Danylenko, V, Sivak, E & Shevchenko, S 2019, 'Modeling the resonance of a swinging spring based on the synthesis of a motion trajectory of its load', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3/7, no. 99, pp. 53-64.
7. Kutsenko, L, Semkiv, O, Kalynovskiy, A, Zapolskiy, L, Shoman, O, Virchenko, G, Martynov, V, Zhuravskij, M, Danylenko, V & Ismailova, N 2019, 'Development of a method for computer simulation of a swinging spring load movement path', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 7-97, pp. 60-73.
8. Kutsenko, L, Vanin, V, Shoman, O, Zapolskiy, L, Yablonskiy, P, Vasyliiev, S, Danylenko, V, Sukharkova, E, Rudenko, S & Zhuravskij, M 2019, 'Synthesis and classification of periodic motion trajectories of the swinging spring load', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 7-98, pp. 2-37.
9. Meng, W, Yang, Z, Qi, X & Cai, J 2013, 'Reliability analysis-based numerical calculation of metal structure of bridge crane', *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, no. 1-5, pp. 1-5.
10. Haniszewski, T 2014, 'Strength analysis of overhead traveling crane with use of finite element method', *Transport problems*, vol. 9, no. 1, pp. 19-26.
11. Fidrovskaya, NM, Slepuzhnikov, ED & Chernyshenko, OV 20105, 'Mitsnist trokhsharovoi tsylindrychnoi obolonky', *Naukovyi visnyk budivnytstva*, iss. 1, no. 79, pp. 190-193.
12. Fidrovskaya, NM & Slepuzhnikov, ED 2012, 'Vyznachennia optymalnykh parametriv khodovykh kolis mostovykh kraniv', *Naukovyi visnyk budivnytstva*, iss. 69, pp. 215-222.
13. Fidrovskaya, N, Slepuzhnikov, E, Larin, O, Varchenko, I, Lipovyi, V, Afanasenko, K & Harbuz, S 2020, 'Increase of operating reliability of the travel wheel using the use of the elastic inserts', *EUREKA: Physics and Engineering*, vol. 5, no. 30, pp. 69-79.
14. 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*, vol. 2, pp. 108-115.
15. Artamonov, DN & Petrov, AM 2017, 'Modernizatsiya mekhanizma peredvizheniya telezhki mostovogo kрана', *Molodoy issledovatel*, iss. 5, no. 8, pp. 12-16, viewed 11 November 2020, <http://mid-journal.ru/upload/iblock/18e/2_artamonov_12_16.pdf>.
16. Zelic, A, Zuber, N & Sostakov, R 2018, 'Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling', *Ekspluatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, vol. 20, no. 1, pp. 90-99.
17. Gankevich, VF, Gryaznova, LV & Lisnyak, AG 2012, 'Ways to enhance the reliability of wheel pairs of locomotive transport', *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, vol. 5, pp. 76-79, viewed 11 November 2020, <<https://nvngu.in.ua/index.php/ru/component/jdownloads/finish/35-05/565-2012-5-gankev/0>>.

Стаття надіслана до редакції 01 грудня 2020 р.