

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ КРАНОВОГО ХОДОВОГО КОЛЕСА

Фідровська Н. М.¹, Слепужніков Є. Д.², Чернишенко О. В.³, Перевозник І. А.³

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Національний університет цивільного захисту України,

³Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація. У статті розглянуто модернізацію конструкції ходового колеса за рахунок введення пружного елемента. Зменшення силових і пружних факторів у модернізованому ходовому колесі пояснюється тим, що застосування пружного кільця приводить до зростання жорсткості згину зовнішнього кільця оболонки.

Ключові слова: гумова вставка, динамічні навантаження, тришарова конструкція, вібраційні навантаження.

Вступ

Мостові крани є одним з найбільш поширених видів підйомно-транспортного устаткування промислових підприємств. Безперерйна робота кранів може бути забезпечена лише за умов високої довговічності й надійності їхніх основних вузлів і деталей. З моменту появи перших кранів мостового типу постала проблема перекосів ходових коліс; вона також є актуальною і на сьогоднішній день.

Аналіз результатів роботи механізмів пересування кранів свідчить про недостатню довговічність ходових коліс, термін служби яких коливається від декількох місяців до декількох років.

Аналіз публікацій

В роботах [1, 2] проведено вимір вібраційних навантажень на конструкції залізничних вагонів для транспортування небезпечних вантажів. В роботах теоретично та експериментально [3, 4] показано, що за певних умов вібрації в конструкції ТВЕЛів виникають мікротріщини надкритичних розмірів. Відповідно для забезпечення безпеки транспортування небезпечних вантажів проводяться роботи з підвищення надійності, як ємностей для транспортування ТВЕЛів та радіоактивних відходів, так і вузлів кріплення [5]. Однак існує ще один метод підвищення безпеки транспортування небезпечних вантажів залізничним транспортом, який є недостатньо розвиненим у світовій науковій літературі. Цей метод полягає в удосконаленні конструкції колісних пар залізничних вагонів [6, 7]. Суттєво знизити вібраційні навантаження на конструкцію вагона та на резервуари для транспортування вантажів

дозволяє модифікація коліс за допомогою гумових вставок [8]. Однак для використання такої конструкції коліс під час транспортування вантажів необхідно вирішити проблемні питання забезпечення достатніх вібраційних характеристик. Ці питання залишаються невирішеними.

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є обґрунтування модернізованої конструкції ходового колеса колісної пари з гумовою вставкою.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробити модернізовану конструкцію ходового колеса з гумовою вставкою;
- визначити динамічні зусилля, які виникають під час пересування ходового колеса з гумовою вставкою по рейковій колії;
- провести аналіз закономірності формування вібраційних ознак у ходовому колесі модернізованої конструкції.

Матеріали дослідження, експериментальна частина

Дослідження роботи ходового колеса проводилось у межах задачі вибору й аналізу більш досконалої конструкції колеса, яка дозволить значно збільшити його довговічність. Запропонована вдосконалена конструкція ходового колеса з гумовою вставкою приводить до зменшення напружень у колесі та зносу ходової частини, і в тому числі реборд. Ходове колесо знаходиться під дією навантаження статичних і динамічних сил. Статичні сили поділяються на вертикальні й горизонтальні. Вертикальні виникають від ваги вантажу. Горизонтальні сили – це, як правило, сили тертя між ходовим колесом та

рейкою. Динамічні навантаження виникають при перехідних процесах, а також при перекосах коліс і переході через стики рейкового шляху.

Конструкція, яка складається із декількох шарів, з яких зовнішні виконані з міцного матеріалу (1), а середній шар є маломіцним легким наповнювачем (2), має не тільки зменшену масу, але й високу міцність і жорсткість, що пояснюється в першу чергу більшим значенням моменту інерції всієї стінки (рис. 1).

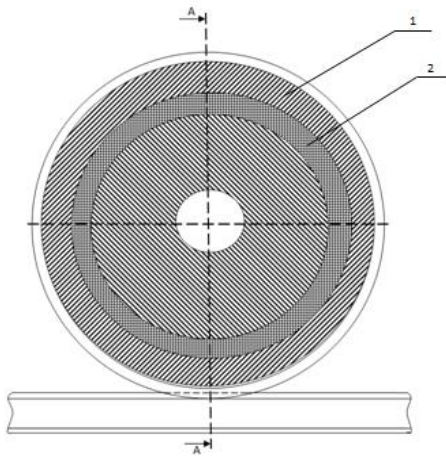


Рис.1. Конструкція ходового колеса з гумовою вставкою

У порівнянні з одношаровою обшивкою момент інерції може бути збільшений у багато десятків разів.

При розрахунках реальних конструкцій треба враховувати, що заповнювач має знижені модулі пружності. Якщо не враховувати зближення зовнішніх шарів, то можна прийняти модуль пружності заповнювача в напрямку нормалі до середньої поверхні рівним безкінечності. У площині серединної поверхні, тобто упродовж твірної оболонки і в кільцевому напрямку модуль пружності заповнювача можна прийняти рівним нулю.

Особливістю розрахунку тришарової оболонки є необхідність врахування енергії зсуву заповнювача.

Циліндрична жорсткість такої конструкції визначається за формулою:

$$D_i = D_1 + D_2 + \frac{2E}{1-\mu^2} \frac{\left(h + \frac{\delta_{n.cp}}{2}\right)^2}{\delta_{n.cp}} \delta_{n1} \delta_{n2}, \quad (1)$$

де $2h$ – товщина заповнювача; $\delta_{n.cp}$ – середня товщина несучих шарів.

$$\delta_{n.cp} = 0,5(\delta_{n1} + \delta_{n2})$$

де δ_{n1} , δ_{n2} – товщина зовнішніх шарів; D_1 , D_2 – власні жорсткості згину окремих несучих конструкцій; E – модуль пружності; μ – коефіцієнт Пуассона.

$$D_1 = \frac{E\delta_{n1}^3}{12(1-\mu^2)},$$

$$D_2 = \frac{E\delta_{n2}^3}{12(1-\mu^2)}.$$

Якщо тришарова конструкція має жорсткий заповнювач, що відносно добре працює на нормальні напруження, направлені упродовж несучих шарів, то в цьому випадку заповнювач має відносно більше значення модуля пружності E_{zap} . Тому при розрахунках для циліндричної жорсткості необхідно враховувати жорсткість згину заповнювача. Тоді формула (1) буде мати вигляд:

$$D_i = D_1 + D_2 + \frac{2E}{1-\mu^2} \frac{\left(h + \frac{\delta_{n.cp}}{2}\right)^2}{\delta_{n.cp}} \delta_{n1} \delta_{n2}, \quad (2)$$

де $2h$ – товщина заповнювача; $\delta_{n.cp}$ – середня товщина несучих шарів.

Інтерпретація результатів та їх апробація

Для проведення експериментального дослідження нами використовувався комплекс «Ультра-В-І» (рис. 2).

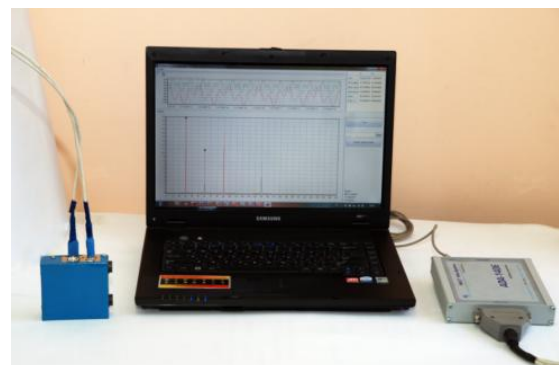


Рис. 2. Загальний вигляд вібровимірювального комплексу

Експериментальне дослідження проводилось на дворобордному ходовому колесі вантажного візка мостового крана. Вібровимі-

ривальний комплекс розташовувався безпосередньо на об'єкті досліджень. Датчики було встановлено в контрольних точках і за допомогою розміщених на балці крана дротів з'єднувались із АЦП, який разом із комп'ютером знаходився у кабіні крана. Останнє дозволяло здійснювати безпосередній контроль над режимами роботи крана.

Дослідження вібраційного стану проводилось у двох контрольних місцях:

- на осі холостого колеса візка крана;
- на осі приводного колеса візка крана.

Вимірювання вібрацій здійснювалось на різних швидкостях руху візка по крану, а також на різних його робочих режимах (холостий хід по крану, переміщення вантажу різної маси).

Відповідно до методики проведення експериментальних досліджень було проведено аналіз закономірності формування вібраційних ознак.

На рис. 3 та 4 представлено зареєстровані сигнали та їх спектральний аналіз для вертикальних (рис. 3) та осьових (рис. 4) вібрацій на осі коліс – приводного та веденого. Слід зазначити, що ведене колесо у даному випадку є модернізованої конструкції та має гумові вставки.

На спектрі чітко виражені вузькочастотні майже гармонічні вібрації з частотою 290 Гц.

Вертикальні вібрації на осі приводного колеса мають також широкосмугову складову 250–300 Гц.

Рівень віброприскорень у вертикальному напрямку на модернізованому веденому колесі на холостому ході майже в 4 рази менший за рівень віброприскорень на приводному колесі звичайної конструкції. Ситуація є якісно однаковою на двох зареєстрованих швидкостях руху. Зі збільшенням швидкості руху при цьому спостерігається збільшення рівня вібрацій.

Вібрації в осьовому напрямку 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 %. Результати випробувань на вібрації під час перевезення вантажу 0,5 тонни на осі коліс наведено на рис. 5. Спектральний склад вібрацій дуже схожий з вібрацією, що спостерігалась під час руху візка на холостому ході. Чітко виражені на спектрі вузькочастотні майже гармонічні вібрації з частотою 290 Гц. Вертикальні вібрації на осі приводного колеса мають також широкосмугову складову 310–340 Гц, яка відповідає зареєстрованим даним на балці крана під час перевезення вантажу із цією ж масою.

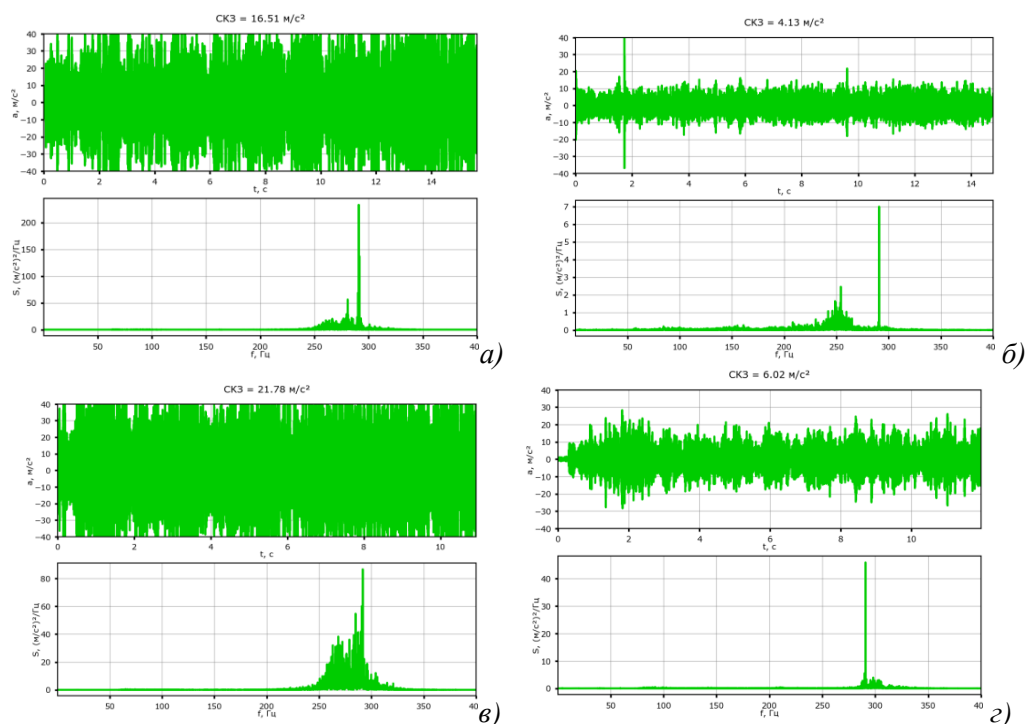


Рис. 3. Віброприскорення у вертикальному напрямку на колесах під час холостого ходу візка на 1-й (а, б) та 2-й (в, з) швидкостях руху, а) та в) – приводне колесо, б) та з) – холосте колесо

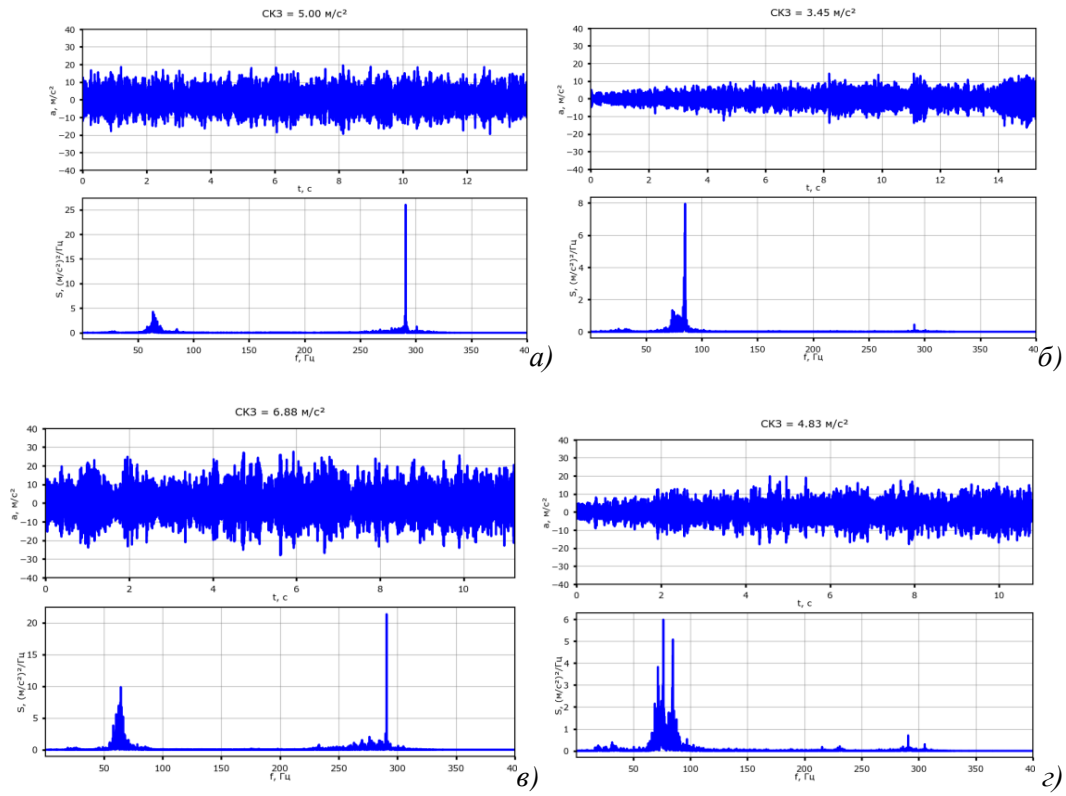


Рис. 4. Віброприскорення в осьовому напрямку на колесах під час холостого ходу візка на 1-й (а, б) та 2-й (в, г) швидкостях руху, а) та в) – привідне колесо, б) та г) – холосте колесо

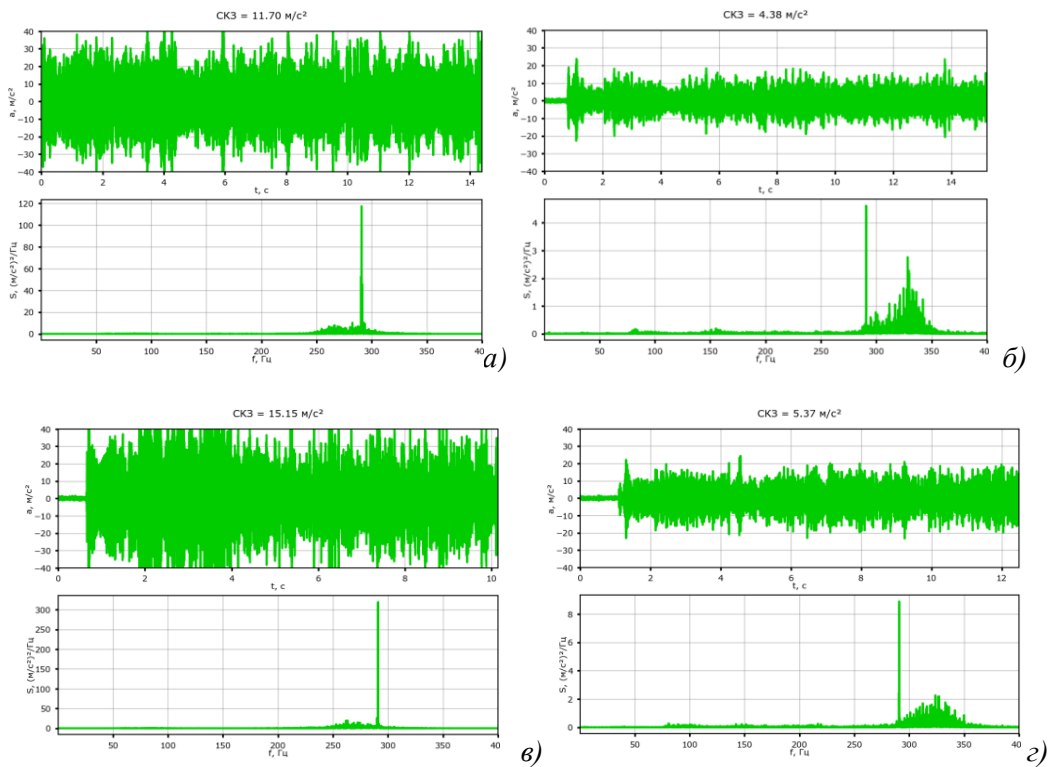


Рис. 5. Віброприскорення у вертикальному напрямку на колесах під час перевезення вантажу 0,5 тонн на 1-й (а, б) та 2-й (в, г) швидкостях руху, а) та в) – привідне колесо, б) та г) – холосте колесо

Рівень віброприскорень у вертикальному напрямку на модернізованому веденому колесі майже в 3 рази менший за рівень віброприскорень на приводному колесі на холостому ходу звичайної конструкції. Ситуація є якісно однаковою на двох зареєстрованих

швидкостях руху. Зі збільшенням швидкості руху при цьому спостерігається збільшення рівня вібрацій.

Вібрації в осьовому напрямку (рис. 6) є меншого рівня.

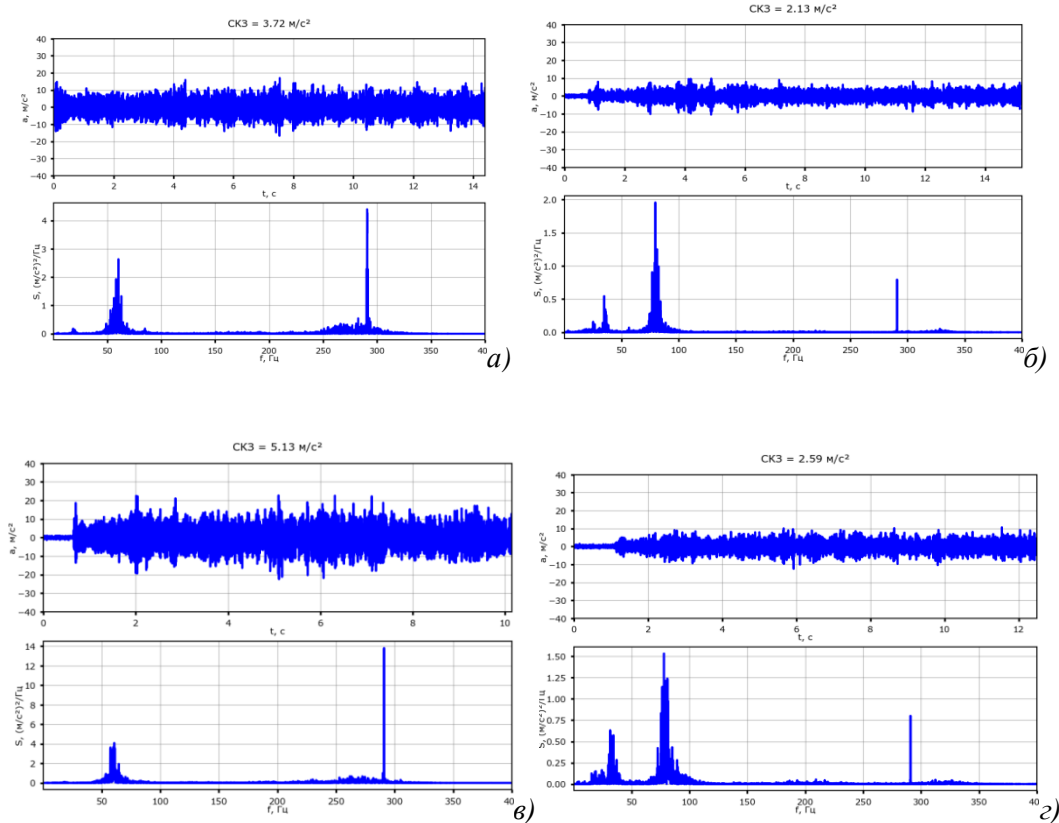


Рис. 6. Віброприскорення в осьовому напрямі на колесах під час холостого ходу візка на 1-й (а, б) та 2-й (в, г) швидкостях руху: а – та в – приводне колесо, б та г – ведене колесо

Тенденція щодо зменшення віброприскорень на веденому модернізованому колесі тут так само зберігається, але у кількісному вимірі зменшення вібрацій є меншим – в межах близько 75 %.

Висновки

1. Проведені розрахунки показують, що напружений стан колеса з гумовою вставкою менший, ніж у ходовому колесі старої конструкції. Зменшення силових і пружних факторів у ходовому колесі, яке має гумову вставку, пояснюється тим, що застосування пружного кільця приводить до зростання жорсткості згину зовнішнього кільця оболонки.

2. Застосування ходового колеса з гумовою вставкою значно зменшує динамічні навантаження.

3. Вібрації у вертикальному напрямку є значно більшими, ніж в осьовому. Вібрації на холостому модернізованому колесі є значно меншими, ніж вібрації на приводному колесі звичайної конструкції й майже не залежать від маси вантажу, який переміщується.

Література

1. McConnell P. Fuel Assembly Shaker Test Plan. Tests for Determining Loads on Used Nuclear Fuel under Normal Conditions of Transport. Sandia National Laboratories. 2012, p. 72.
2. Uchikawa S., Kishita H., Ide H., Owaki M., Ohira K. Transportation Activities for BWR Fuels at NFI. Nuclear Fuel Industries. Proceedings of Global 2009. Paris. 2009, Vol. 40, pp. 43–55.
3. Retel V., Trivaudey F., Boubakar M.L., Perreux D., & Thevenin P. Comparative effects of structural and material parameters variability on pellet-cladding interaction in a PWR fuel rod. Nuclear Engineering and Design, 2004, pp. 35-46.

4. Adams Travis M. Dynamic Testing Procedures for Performance Assessment of Nuclear Fuel Rods. Honors Theses and Capstones. 2014. p. 197.
5. Klymyshyn N.A., Ivanusa P., Kadooka K. et al. Modeling and Analysis of the ENSA/DOE Multimodal Transportation Campaign. PNNL-28088. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory. 2018, pp. 34–45.
6. Bracciali A. (2016) Railway Wheelsets: History, Research and Developments. International Journal of Railway Technology. Volume 5, Issue 1, pp. 23-52. doi:10.4203/ijrt.5.1.2
7. Smith R. A., Hillmansen S. (2004) A brief historical overview of the fatigue of railway axles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 1 July, vol. 218, no. 4, pp. 267-277. doi:10.1243/0954409043125932
8. Ma Y., Markine V. L., Mashal A. 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. DOI: 10.1177/0954409718754941
9. Gankevich V.F., Gryaznova L.V., Lisnyak A.G. (2012) Ways to enhance the reliability of wheel pairs of locomotive transport. Scientific bulletin of the National Mining University. Vol. 5, pp. 76–79.
10. Suarez B., Chover J. A., Rodriguez P., Gonzalez F.J. (2011) Effectiveness of resilient wheels in reducing noise and vibrations. Journal of Rail and Rapid Transit. Vol. 225, Issue 6, pp. 545–565. DOI: 10.1177/0954409711404104
7. Smith R. A., Hillmansen S. (2004) A brief historical overview of the fatigue of railway axles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 1 July, vol. 218, no. 4, pp. 267–277. doi: 10.1243/0954409043125932
8. Ma Y., Markine V. L., Mashal A. 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. DOI: 10.1177/0954409718754941
9. Gankevich V.F., Gryaznova L.V., Lisnyak A.G. (2012) Ways to enhance the reliability of wheel pairs of locomotive transport. Scientific bulletin of the National Mining University. Vol. 5, pp. 76–79.
10. Suarez B., Chover J. A., Rodriguez P., Gonzalez F.J. (2011) Effectiveness of resilient wheels in reducing noise and vibrations. Journal of Rail and Rapid Transit. Vol. 225, Issue 6, pp. 545–565. DOI: 10.1177/0954409711404104

References

1. McConnell P. Fuel Assembly Shaker Test Plan. Tests for Determining Loads on Used Nuclear Fuel under Normal Conditions of Transport. Sandia National Laboratories. 2012, p. 72.
2. Uchikawa S., Kishita H., Ide H., Owaki M., Ohira K. Transportation Activities for BWR Fuels at NFI. Nuclear Fuel Industries. Proceedings of Global 2009. Paris. 2009, Vol. 40, pp. 43–55.
3. Retel V., Trivaudey F., Boubakar M.L., Perreux D., & Thevenin P. Comparative effects of structural and material parameters variability on pellet-cladding interaction in a PWR fuel rod. Nuclear Engineering and Design, 2004, pp. 35–46.
4. Adams Travis M. Dynamic Testing Procedures for Performance Assessment of Nuclear Fuel Rods. Honors Theses and Capstones. 2014. p. 197.
5. Klymyshyn N.A., Ivanusa P., Kadooka K. et al. Modeling and Analysis of the ENSA/DOE Multimodal Transportation Campaign. PNNL-28088. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory. 2018, pp. 34–45.
6. Bracciali A. (2016) Railway Wheelsets: History, Research and Developments. International Journal of Railway Technology. Volume 5, Issue 1, pp. 23–52. doi:10.4203/ijrt.5.1.2

Фідровська Н.М., д.т.н., професор,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого 25,
61002, м. Харків, тел. (097)396-98-83
nfidrovskaya@ukr.net

Слепужніков Є.Д., к.т.н.,
Національний університет цивільного захисту
України, вул. Чернишевська 94, 61023, м. Харків,
тел. (063)831-80-94, ors2011@ukr.net

Чернишенко О.В., к.т.н.,
Перевозник І.А., аспірант,
Українська інженерно-педагогічна академія, вул.
Університетська 12, м. 61002, Харків, тел.
(050)160-70-60, igorperevoznik1970@gmail.com

Modernization of the construction of the crane traveling wheel

Abstract. *The article discusses the modernization of the running wheel due to the introduction of an elastic element. The structure, which consists of three layers, the outer ones of which consist of strong steel material, and the middle layer consists of low-strength lightweight aggregate, which can significantly reduce dynamic forces, vibrations and shocks, which increases the reliability of cargo transportation. Calculations have shown that the stress state of a wheel with an elastic insert is less than that of an old-design travel wheel. The decrease in force and elastic factors in the travel wheel, which has an elastic insert, is explained by the fact that the use of an elastic ring leads to an increase in the bending stiffness of the outer ring of the shell. The obtained solution to the problem of the strength of a three-layer structure makes it possible to determine the stresses in the shell depending not only on its geometric parameters, but also on the shear modulus of the filler, which improves the reliability of the design and operation of such structures. Theoretical studies of the stress state of a three-layer cylindrical structure,*

taking into account the shear energy of the filler, makes it possible to assess the strength of such a structure and give certain recommendations for its use. Experimental studies that were carried out on an operating overhead crane fully confirmed a very significant reduction in oscillatory processes in travel wheels. The level of vibration acceleration in the vertical direction on the modernized drive wheel is almost 3 times less than the level of vibration acceleration on the drive wheel at idle speed of a conventional design.

Key words: rubber insert, dynamic loads, three-layer shell, vibration loads.

Fidrovska N., Doctor of Technical Sciences,
Professor

Kharkiv National Automobile and Road University,
Yaroslava Mudrogo str., 25, Kharkiv, 61002,
Ukraine, (097)396-98-83, nfidrovskaya@ukr.net

Slepuzhnikov E., PhD

National University of Civil Defence of Ukraine
Chernyshevska str., 94, 61023, Kharkiv, Ukraine,
(063)831-80-94, ors2011@ukr.net

Chernyshenko A., PhD

Perevoznyk I., Graduate student

Ukrainian Academy of Engineering and Pedagogy,
st. University 12, 61002, Kharkiv, Ukraine,
(050)160-70-60

igorperevoznyk1970@gmail.com .
