

УДК 629.4.027.11

**Кладько Н. С.**

*(аспірант кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

## **ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ БУКСОВОГО ВУЗЛА З КОНІЧНИМ РОЛИКОПІДШИПНИКОМ**

*В статті розглядається питання щодо оптимізації конструкції дворядного конічного підшипникового вузла вантажного вагона. Обговорюються методи оптимізації, вибір розрахункової моделі та критеріїв параметризації. В програмному комплексі ANSYS виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану конічного підшипникового вузла. За результатами розрахунку виявлено «вузькі місця» в конструкції та визначено основні можливі напрямки оптимізації розглянутої моделі.*

**Ключові слова:** *оптимізація, напівбукса, ролик, підшипник, напруження, моделювання.*

**Вступ.** Проблема забезпечення безпечної та надійної роботи вантажного рухомого складу в теперішній час постала дуже гостро. Вирішити цю проблему можливо або закупівлею нових вантажних вагонів, або забезпеченням працездатності існуючого парку через модернізацію окремих вузлів вагонів та впровадження нових технологій технічного обслуговування [1,2].

Досвід експлуатації вітчизняного рухомого складу вказує на наявність великої кількості випадків раптових відмов буксових вузлів вантажних вагонів з роликовими підшипниками, що виявляються у їх понаднормовому нагріві, зламах шийок осей та ін. Крім того, варто зазначити, що під час експлуатації буксових вузлів з конічними роликопідшипниками приладами дистанційного контролю нагрівання буксових вузлів (ДИСК, КТСМ), також виявляється понаднормовий нагрів, що потребує відчеплення вагонів. Це свідчить про необхідність впровадження заходів щодо модернізації буксових вузлів вантажних вагонів[3,4].

**Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми.** Науково-технічний прогрес та зростання потреб населення призвели до стрімкого розвитку та поширення комп'ютерних технологій у всіх сферах людського життя. Застосування методів математичного моделювання дозволяє прискорити процес створення нових технічних систем, високоефективних технологічних процесів та методів управління ними. Широкий спектр можливостей математичного моделювання призвів до розширення методів оптимізації. Таким чином, з'явилися нові можливості у розв'язанні складних задач, що виникають при розробці нових технічних засобів та конструкцій [5,6].

**DOI: 10.32703/2617-9040-2019-34-1-11**

Широкого розповсюдження математичне моделювання набуло у вагонобудуванні та дослідженні ходових частин, в тому числі підшипникових вузлів. Треба зазначити, що при розгляді питань підвищення довговічності підшипникових вузлів основна увага приділялася безпосередньо удосконаленню конструкції та технології виготовлення самих підшипників. Питанню оптимізації конструкції корпусів букс для забезпечення рівномірного розподілення навантажень приділялось недостатньо уваги [7].

На залізничному транспорті України на підшипниковий вузол приходить до 50 % транспортних подій, що віднесені за вагонним господарством та від 25 до 60 % відчеплень вагонів в період гарантійного строку служби після проведення деповського або капітального видів ремонту [8]. На рис. 1 представлено співвідношення загальної кількості відчеплень вантажних вагонів від кількості відчеплень з причини виходу з ладу будь-якого елемента буксового вузла за останні 10 років.

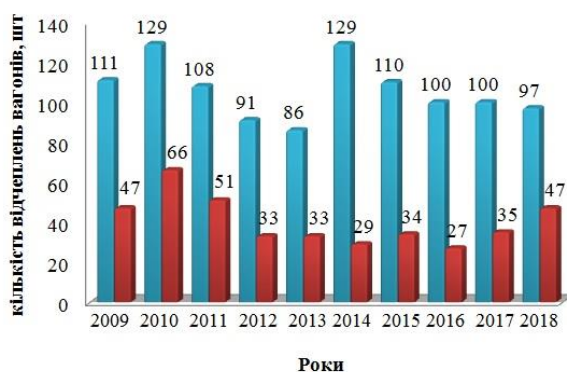


Рис. 1. Співвідношення загальної кількості відчеплень вантажних вагонів від кількості відчеплень через надмірний нагрів букс

Сьогодні поступово відбувається перехід вантажного парку на буксові вузли з конічними підшипниками [9-11]. Конічні підшипникові вузли мають низку переваг перед циліндричними [12, 13]. Разом з тим, варто зазначити, що при застосуванні нових конічних підшипникових вузлів під час їх припрацювання велика вірогідність виникнення надмірного нагріву підшипникового вузла з необхідністю подальшого відчеплення вагона.

Тому, ще й досі, залишається відкритим питання щодо розробки оптимальної конструкції підшипникового вузла, яка б задовольняла усім вимогам сучасних вантажних перевезень.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є встановлення найбільш вразливих місць в конструкції сучасного буксового вузла для подальшої модернізації та запропонування методів покращення умов сприймання навантаження.

**Матеріали та методи дослідження.** Оптимізація конструкції на початковому етапі потребує вибору функції оптимізації, головних критеріїв та обмежень при розрахунках.

Резервом підвищення ефективності використання конічних підшипників є впровадження адаптерів. Перспективним напрямком оптимізації конструкції таких адаптерів є застосування пружних елементів, шевронів та ін. Дослідження [14] стверджують, що адаптер з шевронами візка 18-4129 має ряд переваг перед іншими типами адаптерів. Однак складність виготовлення, необхідність додаткових витрат на впровадження нових візків або модернізацію типових викликає сумніви щодо доцільності застосування таких адаптерів.

На нашу думку, варто звернути увагу на адаптер (напівбуксу) підшипникового вузла, що застосовується у візку моделі 18-7020. Показники довговічності адаптера (напівбукси) нижчі, ніж у адаптера з шевронними вставками, але напівбукса має ресурс для підвищення показників надійності за рахунок оптимізації її конструкції [15].

Задачу оптимізації форми напівбукси можливо вирішити за допомогою розробки геометричної моделі деталі або конструкції. В процесі проектування методом скінчених елементів (МСЕ) оцінити концентрацію напружень та використовувати в якості критеріїв ресурсу наприклад, уточнені моделі довговічності [16-18].

Дослідження напружено-деформованого стану підшипникового вузла виконувалось методом скінчених елементів в програмному комплексі ANSYS. Розроблена 3-D модель напівбукси разом з конічним підшипником було розбито на скінчені елементи тетрадрального типу Solid92 загальною кількістю 632457.

Для моделювання контактної взаємодії тіл кочення та кілець дворядного конічного підшипника застосовувалися спеціальні контактні елементи. Залежно від відносного переміщення вузлів цих поверхонь, на кожній ітерації уточнювались зусилля на площадці контакту і знаходився розв'язок для системи нелінійних рівнянь у матричній формі.

При створенні моделі було прийнято припущення, що відповідають основним положенням теорії Герца. Крім того не враховувались вплив технологічних відхилень при складанні елементів ходових частин на навантаження елементів підшипника, можливе спрацювання підшипників в експлуатації, а також дія мастила на контактну міцність деталей підшипника.

Вертикальне навантаження прикладалися у напрямку осі "Y" до приливів у верхній частині адаптера підшипникового вузла. Модель кріпилася за внутрішнє кільце, переміщення обмежувались по осям "Z, Y", також було виконано обмеження у переміщенні адаптера уздовж осі "X".

При навантаженні 230 кН на вісь максимальні напруження в зоні контакту роликів з з кільцями в передній частині підшипника не перевищують 500 МПа (рис. 3.) і мають рівномірний розподіл навантаження для всіх роликів, що знаходяться в зоні навантаження, максимальне напруження припадає на центральний ролик. Розподілення напружень уздовж твірної ролика має відносно стабільний характер: максимальні напруження зосереджені в середній частині ролика і плавно зменшуються до нуля в точці переходу від твірної до торця ролика (тобто "крайковий" ефект відсутній). Саме таке розподілення контактних навантажень сприяє максимальній довговічності підшипника в цілому

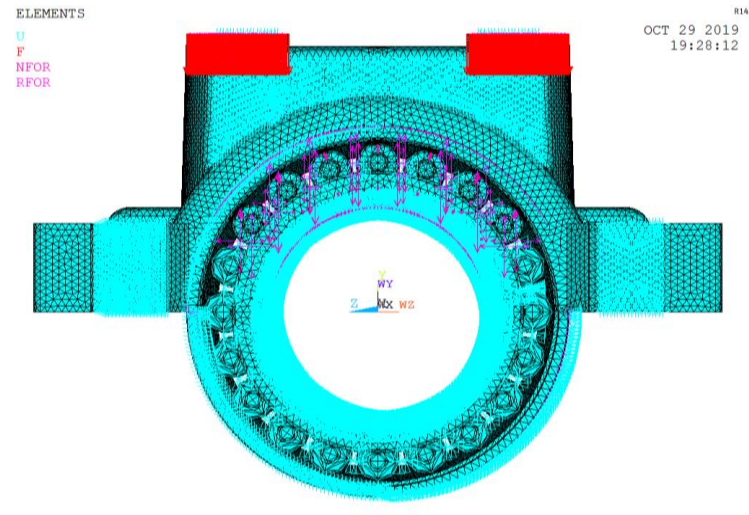
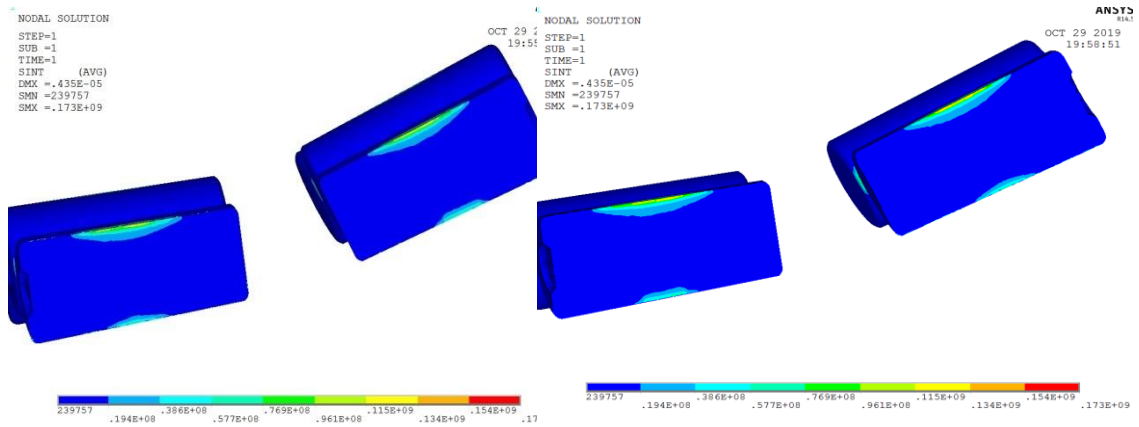


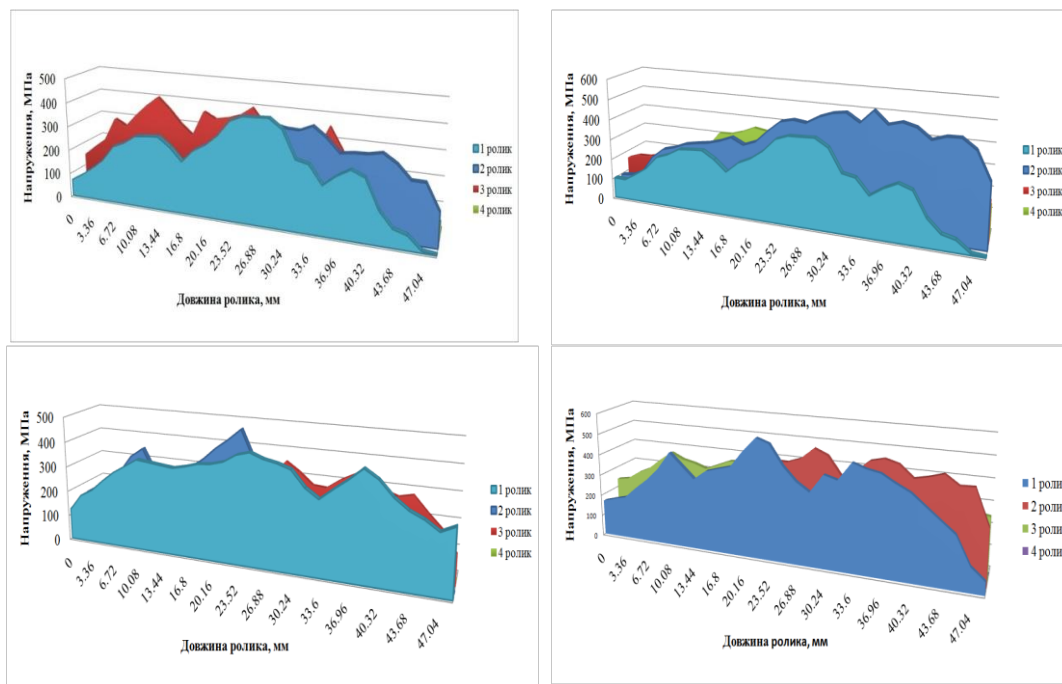
Рис. 2. Розподіл навантажень у підшипниковому вузлі



а) перший ролик передній та задній

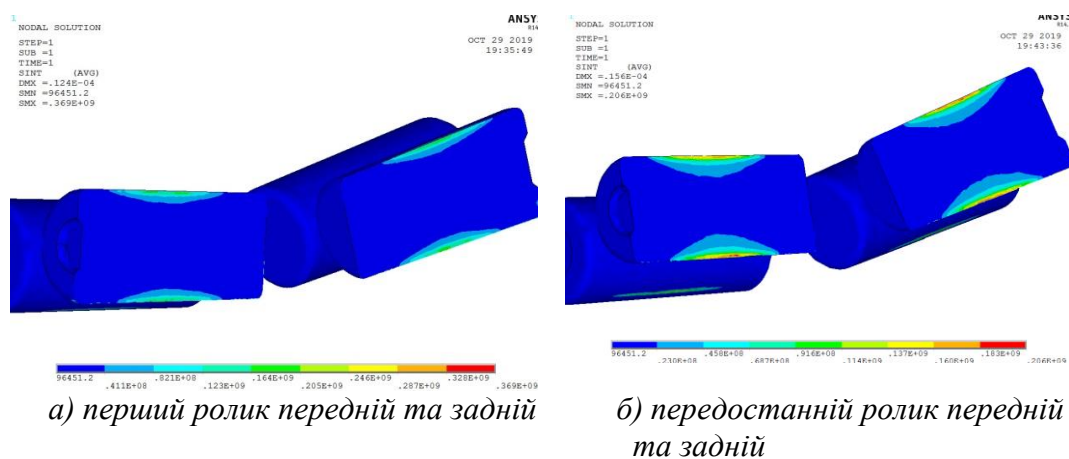
б) передостанній ролик передній та задній

Рис. 3. Напружено-деформований стан роликів підшипника при навантаженні 230 кН на вісь



**Рис. 4. Розподіл максимальних контактних напружень уздовж твірної ролика при навантаженні 230 кН на вісь**

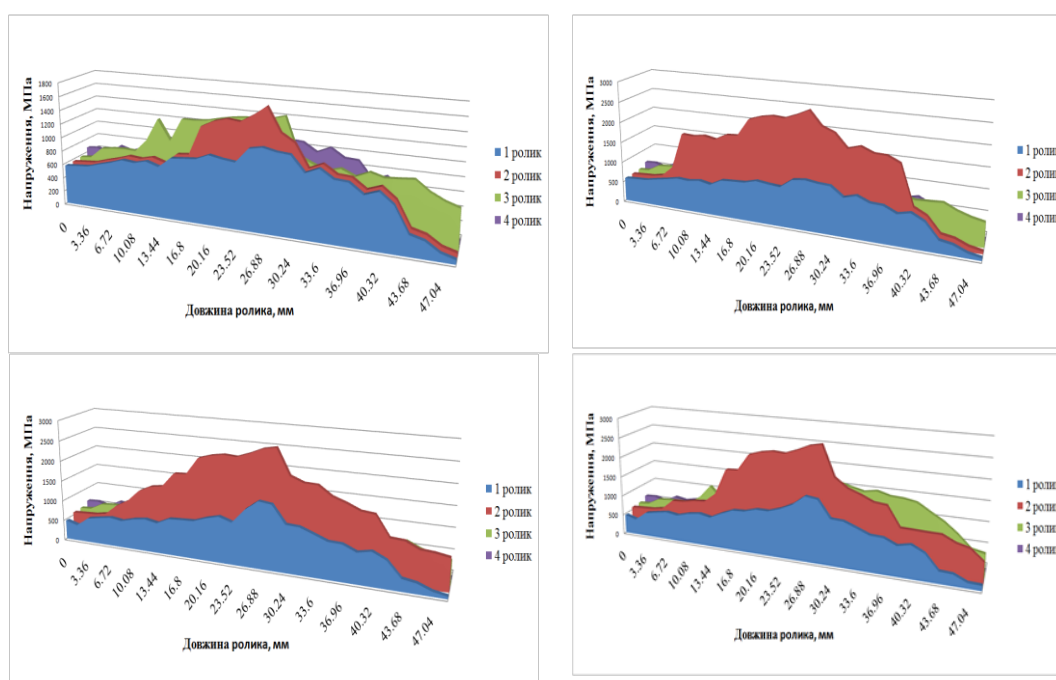
При збільшенні навантаження до 360 кН напруження підіймаються до 2800 МПа. Та виникає декілька пікових навантажень, при цьому перший (центральный) ролик дещо розвантажений в порівнянні з наступним (Рис.5.)



*а) перший ролик передній та задній*

*б) передостанній ролик передній та задній*

**Рис. 5. Напружено-деформований стан роликів підшипника при навантаженні 360 кН на вісь**



**Рис. 6. Розподіл максимальних контактних напружень уздовж твірної ролика при навантаженні 360 кН на вісь**

**Висновки.** Результати отримані за допомогою програмного комплексу ANSYS, що складається з модуля аналізу конструкції на основі методу скінченних елементів і модуля оптимізації на основі алгоритму послідовної квадратичної апроксимації. Універсальність комплексу полягає в тому, що він дозволяє в якості модуля аналізу використовувати різні програми МСЕ.

Проведене дослідження дало можливість проаналізувати напружено-деформований стан підшипникового вузла. Розроблено рекомендації щодо оптимізації конструкції напівбукси.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Мартинов І. Е. Визначення показників надійності вагонних букс за результатами випробувань. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2005. Вип. 68. С. 191-198.
2. Мартинов І. Е. До питання оптимізації підшипників букс вантажного рухомого складу. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2004. Вип. 64. С. 147-153.
3. Мартинов І. Е. Технічний стан буксових роликпідшипників вантажних вагонів. Харківська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2000. Вип. 41. С. 38-42
4. Морчиладзе И. Г., Соколов А. М. Совершенствование и модернизация буксовых узлов грузовых вагонов. Железные дороги мира. 2006. № 10. С. 59-64.
5. Сергієнко, І. В. Комп'ютерні технології і науково-технічний прогрес. Вісник НАН України. 2016 № 11. С. 56-75.
6. Rao S. S. Engineering optimization. Theory and practice John Wiley & Sons, Inc. 2009. 840 p
7. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Аулова Н. С. Вплив конструкції корпусу букси на ресурс підшипників вагонів. Вісник технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2017. № 7 (1229). С. 73-80.



8. Мартынов И. Э., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Анализ надежности буксовых подшипниковых узлов грузовых вагонов. "Мир транспорта": научно-практический журнал. 2015. Т. 13. № 3 (58). С. 226-232
9. Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів вагонів. Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. 2014. Вип. 147. С. 50-53.
10. Мартинов І. Е. Дослідження напруженого стану конічних роликотішипників. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. 2007. Вип. 81. С. 83-86.
11. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Можейко С. Р., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Результати експлуатаційних випробувань здвоєних касетних циліндричних підшипників в буксах вантажних вагонів. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №1/7 (73). С. 8-13
12. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз напружено-деформованого стану здвоєного касетного циліндричного підшипника буксового вузла вантажного вагона. Вісник Східноукраїнського державного університету: науковий журнал. 2014. № 3 (210). С. 156–159.
13. Мартинов І. Е. До питання удосконалення конструкції конічних підшипників транспортних засобів. Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту: Серія "Транспортні системи і технології". 2004. Вип. 5. С. 45-48
14. О влиянии конструкции адаптера [Электронный ресурс]: Отдельное конструкторское бюро. Режим доступа: [https://okb.at.ua/publ/o\\_konstrukcii\\_adapterov\\_chast\\_2/1-1-0-4](https://okb.at.ua/publ/o_konstrukcii_adapterov_chast_2/1-1-0-4). (дата обращения: 01.11.2019).
15. I. E. Martynov, V. M. Ischenko, A. V. Trufanova, N. S. Kladko. Study of the effect of adapter design on the load distribution in the bearing units of freight cars. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. 7(4) P. 147 – 151.
16. Deaton J. D., Grandhi R. V. A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2014. Vol. 49, iss. 1. P. 1–38.
17. Sigmund O., Maute K. Struct topology optimization approaches. A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2013. Vol. 48, iss. 6. P. 1031–1055.
18. Munk D. J., Vio G. A., Steven G. P. Topology and shape optimization methods using evolutionary algorithms: a review. *Struct Multidisc Optim*. 2015. Vol. 52, iss. 3. P. 613–631.

## REFERENCES

1. Martinov I. E. (2005) Vznachennya pokaznikov nadiynosti vagonnikh buks za rezultatami viprobuvan. *Ukrainska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 68. 191-198. (in Ukrainian).
2. Martinov I. E. (2004) Do pitannya optimizatsii pidshipnikov buks vantazhnogo rukhomogo skladu. *Ukrainska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 64. 147-153. (in Ukrainian).
3. Martinov I. E. (2000) Tekhnichniy stan buksovikh rolikopidshipnikov vantazhnikh vagoniv. *Kharkivska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 41. 38-42. (in Ukrainian).
4. Morchiladze I. G. Sokolov A. M. (2006) Sovershenstvovaniye i modernizatsiya buksovykh uzlov gruzovykh vagonov. *Zheleznyye dorogi mira*. 10. 59-64. (in Russian).
5. Sergienko. I. V. (2016) Komp'yuterni tekhnologii i naukovu-tekhnichniy progres. *Visnik NAN Ukraini*. 11. 56-75. (in Ukrainian).
6. Rao S. S. (2009) Engineering optimization. Theory and practice. *John Wiley & Sons, Inc.* 840. (in English).
7. Martinov I. E., Trufanova A. V., Aulova N. S. (2017) Vpliv konstruksii korpusu buksi na resurs pidshipnikov vagoniv. *Visnik tekhnichnogo universitetu «KhPI». Zbirnik naukovikh prats. Seriya: Novi rishennya v suchasnikh tekhnologiyakh.* 7 (1229). 73-80. (in Ukrainian).
8. Martynov I. E., Trufanova A. V. Shovkun V. O. (2015) Analiz nadezhnosti buksovykh podshipnikovyykh uzlov gruzovykh vagonov. *Mir transporta*. 13. 3 (58). 226-232. (in Russian).
9. Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2014) Analiz perspektivnikh konstruksiy buksovikh vuzliv vagoniv. *Zb. nauk. prats Ukr. derzh. akad. zaliznich. transp.* 147. 50-53. (in Ukrainian).
10. Martinov I. E. (2007) Doslidzhennya napruzhenogo stanu konichnikh rolikopidshipnikov. *Ukrainska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. Zb. nauk. prats.* 81. 83-86. (in Ukrainian).
11. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Mozheyko E. R., Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2015) Rezultati ekspluatatsiynikh viprobuvan zdvoenikh kasetnikh tsilindrichnikh pidshipnikov v buksakh vantazhnikh vagoniv. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy.* 1/7 (73). 8-13. (in Ukrainian).
12. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Trufanova A. V., Shovkun V. O. (2014) Analiz napruzhenodeformovanogo stanu zdvoenogo kasetnogo tsilindrichnogo pidshipnika buksovogo vuzla vantazhnogo vagona. *Visnik Skhidnoukrajnskogo derzhavnogo universitetu: naukoviy zhurnal.* 3 (210). 156 –159. (in Ukrainian).

13. Martinov I. E. (2004) Do pitannya udoskonalennya konstruksii konichnikh pidshipnikiv transportnikh zasobiv. *Zb. nauk. prats Kiiivskogo universitetu ekonomiki i tekhnologiy transportu: Seriya "Transportni sistemi i tekhnologii"*. 5. 45-48. (in Ukrainian).

14. O vliyanii konstruksii adaptera [Elektronnyj resurs]; Otdelnoe konstruktorskoe byuro. Rezhim dostupa: [https://okb.at.ua/publ/o\\_konstruksii\\_adapterov\\_chast\\_2/1-1-0-4](https://okb.at.ua/publ/o_konstruksii_adapterov_chast_2/1-1-0-4). (data obrasheniya: 01.11.2019). (in Ukrainian).

15. I. E. Martynov, V. M. Ischenko, A. V. Trufanova, N. S. Kladko. (2018) Study of the effect of adapter design on the load distribution in the bearing units of freight cars. *International Journal of Engineering and Technology*. 7(4) P. 147 – 151. (in English).

16. Deaton J. D., Grandhi R. V. (2014) A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Vol. 49, iss. 1. P. 1–38. (in English).

17. Sigmund O., Maute K. (2013) Struct topology optimization approaches. A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2013. Vol. 48, iss. 6. P. 1031–1055. (in English).

18. Munk D. J., Vio G. A., Steven G. P. (2015) Topology and shape optimization methods using evolutionary algorithms: a review. *Struct Multidisc Optim*. Vol. 52, iss. 3. P. 613–631. (in English).

***H. C. Кладько***

***(аспірант кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)***

### **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУКСОВОГО УЗЛА С КОНИЧЕСКИМ РОЛИКОПОДШИПНИКОМ**

*В статье рассматривается вопрос оптимизации конструкции двухрядного конического подшипникового узла грузового вагона нового поколения. Обсуждаются методы оптимизации, выбор расчетной модели и критериев параметризации. Результаты получены с помощью программного комплекса ANSYS, состоящий из модуля анализа конструкции на основе метода конечных элементов и модуля оптимизации на основе алгоритма последовательной квадратичной аппроксимации. Универсальность комплекса заключается в том, что он позволяет в качестве модуля анализа использовать различные программы МКЭ.*

*По результатам расчета получено распределения напряжений в коническом подшипнике и обнаружено «узкие места» в конструкции типичного адаптера и определены основные возможные направления оптимизации рассматриваемой модели.*

***Ключевые слова:*** оптимизация, полубукса, ролик, подшипник, напряжение, моделирование.

***Nadiia Kladko***

***(Postgraduate of Department Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport)***

### **SELECTION OF RATIONAL PARAMETERS OF AXLEBOXES WITH A CONIC ROLLER BEARING**

*The article discusses the optimization of the design of a two-row conical bearing assembly of a new generation freight wagon. Optimization methods, the choice of a computational model and parameterization criteria are discussed. In the ANSYS software package, computer simulation of the stress-strain state of a tapered bearing assembly has been performed. Based on the calculation results, the stress distribution in the tapered*



bearing was obtained and bottlenecks in the design of a typical adapter were found and the main possible directions for optimizing the model under consideration were identified.

The results are obtained using the ANSYS software package, which consists of a finite element method analysis module and an optimization module based on a sequential quadratic approximation algorithm. The versatility of the complex is that it allows the use of various ITU programs as an analysis module.

Requirement means that when looking at food, there is a basic respect for the design and technology of the products themselves. Nourishment of optimized construction of the bookcase for the care of the evenly divided number of navigational attitudes lacked respect. The study made it possible to analyze the stress-strain state of the bearing assembly. Recommendations for optimization of the construction of the semi-axle have been developed.

**Keywords:** optimization, half-axlebox, roller, bearing, stress, modeling.