

І. Д. БОРЗИЛОВ, Г. А. КАЛУГА

ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Проведений аналіз робіт стосовно розробки та використання засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць в процесі експлуатації та при виконанні планового ремонту. Показано, що подальший розвиток засобів технічної діагностики букс в процесі експлуатації рухомого складу повинно відбуватися при прямому безперервному контролі температури шляхом інтеграції датчиків в найбільш інформативні зони букс, а про небезпечне нагрівання підшипників буде свідчити радіосигнал. При плановому ремонті рухомого складу, запропоновано комплекс вібродіагностики підшипників кочення, що визначає за одним вимірюванням технічний стан і прогнозування залишкового ресурсу підшипників в буксових вузлах.

Ключові слова: буксовий вузол, діагностування, технічний стан, підшипники, рухомий склад, технічне обслуговування, експлуатація.

И. Д. БОРЗИЛОВ, А. А. КАЛУГА

ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Проведен анализ работ по разработке и использованию средств технического диагностирования буксовых узлов подвижного состава железных дорог в процессе эксплуатации и при выполнении планового ремонта. Показано, что дальнейшее развитие средств технической диагностики букс в процессе эксплуатации подвижного состава должно происходить при прямом непрерывном контроле температуры путем интеграции термодатчиков в наиболее информативные зоны букс, а об опасном нагреве подшипников будет свидетельствовать радиосигнал. При выполнении планового ремонта подвижного состава, предложен комплекс оперативной вибродиагностики подшипников качения, который определяет одним измерением техническое состояние и прогнозирования остаточного ресурса подшипников в буксовых узлах.

Ключевые слова: буксовый узел, диагностирование, техническое состояние, подшипники, подвижной состав, техническое обслуживание, эксплуатация.

I. D. BORZILOV, A. A. KALUGA

INTRODUCTION OF MODERN MEANS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF AXLE BLOCKS OF ROLLING STOCK

To maintain a high level of reliability of the work of the railway vehicle axle units, a timely warning is required, identifying and identifying possible faults in bearings, especially hidden ones, which cannot be detected by external inspection. To solve this problem, an analysis has been made of the development and use of technical diagnostic tools for axleboxes of the rolling stock of railways in the course of its operation and during routine maintenance. Priorities for the use of technical diagnostic tools for axle boxes have been established, and on this basis the most promising ones have been proposed for use. It is shown that the further development of the means of technical diagnostics of the boxes during the operation of the rolling stock should occur with direct continuous monitoring of the bearing temperature by integrating the temperature sensors into the most informative areas of the boxes, and a radio signal will indicate the dangerous heating of the bearings. When carrying out routine maintenance of the rolling stock, a complex of operational vibration diagnostics of rolling bearings is proposed as a promising one, which determines the technical state and prediction of the residual life of rolling bearings in pedestal units by one measurement. The introduction of modern means of technical diagnosis of axle boxes is necessary in connection with the requirements for advanced technological processes of maintenance and repair of rolling stock.

Keywords: axlebox, diagnostics, technical condition, bearings, rolling stock, maintenance, operation.

Вступ. Підтримання високого рівня надійності роботи буксових вузлів рухомого складу залізниць вимагає своєчасного попередження, виявлення та установлювання можливих несправностей підшипників, особливо прихованих, які не можливо виявити зовнішнім оглядом. Впровадження сучасних засобів технічного діагностування (ЗТД) необхідно у зв'язку з вимогами перспективного технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, при якому, наприклад, суцільний огляд вагонів у поїздах, що прибувають, замінюється на контрольну перевірку показань ЗТД. Слід зазначити і соціальний бік питання. Упровадження нових або удосконалення існуючих ЗТД дозволяє забезпечити полегшення важкої і небезпечної праці працівників які виконують технічне обслуговування та ремонт буксових вузлів рухомого складу, автоматизувати цей процес.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. За останні роки на залізницях України та інших держав технічна діагностика все більше впроваджується в технологічні процеси технічного обслуговування та ремонту рухомого складу. Впроваджуються комплекси засобів технічної діагностики які стають

елементами (операціями) технологічних процесів технічного обслуговування та ремонту. Про широке впровадження технічної діагностики в технологію технічного обслуговування та ремонту рухомого складу в нашій країні та на залізницях країн Західної Європи, США, Японії та Канади йдеться у роботі [1–3, 9, 10]. На основі аналізу останніх досліджень і публікацій, встановлено, що на загальнонауковому рівні з огляду теоретичних і практичних аспектів вирішення питання удосконалення організації та технології обслуговування та ремонту рухомого складу з використанням засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць розглядалися у роботах [1, 3, 4, 5, 8]. Організаційні проблеми стратегії удосконалення ЗТД буксових вузлів вагонів з використанням автоматизованих систем діагностування сформульовані в роботах [5, 7]. Однак, на підставі техніко-економічного аналізу існуючих ЗТД та тих, що пропонуються до впровадження, треба визначитися з їх доцільністю застосування на залізницях України, як з точки зору підвищення рівня надійності рухомого складу, так і зі зростанням їх вартості їх застосування. Необхідно визначити стратегію використання сучасних ЗТД буксових вузлів при технічному обслугову-

ванні та ремонті рухомого складу. Без такої роботи неможливо впроваджувати нові сучасні технології технічного обслуговування та ремонту рухомого складу.

Ціль та задачі. Метою роботи аналіз існуючих ЗТД буксових вузлів рухомого складу залізниць, встановити пріоритети їх використання й на цій підставі запропонувати сучасні ЗТД при технічному обслуговуванні та ремонті рухомого складу залізниць.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз робіт стосовно використання існуючих засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць;

- виявити основні тенденції удосконалення засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць для їх практичного застосування та встановлення напрямів перспективних досліджень.

Основна частина. Результати аналізу надійності роботи буксових вузлів рухомого складу залізниць за кілька років показують, що значна частка порушення їх технічного стану відбувається через незадовільний технічний стан підшипників кочення.

За існуючою технологією технічний стан підшипників буксового вузла оцінюється по непрямим параметрах: наявності металевої стружки в мастилі; зміні температури корпусу букси; зміні вібрації в штатних точках у діапазоні роторних частот.

У зв'язку з цим при діагностуванні технічного стану буксових підшипників використовують методи інтегральної оцінки їхньої працездатності за нагріванням, аналізом параметрів вібрації і виміром структурних параметрів після розбирання.

Підвищене нагрівання підшипників визначають за допомогою вбудованих у корпуси букс температурних датчиків або за допомогою локальних контрольних установок.

У першому випадку в контрольованому вузлі встановлюють термоопори або термопари, а в купе провідника – пристрої світлової та звукової сигналізації (системи контролю нагрівання букс пасажирських вагонів – СКНБ). Такі системи дозволяють фіксувати не тільки абсолютне перевищення припустимої температурної границі, але і відносно більш швидке збільшення температури несправних підшипників.

На залізницях Європейського союзу теж існують перспективні розробки в цьому напрямі. Наприклад, компанія Timken розробила самотестову сенсорну систему, яка встановлюється всередині букси вантажного вагона і в процесі руху поїзда здійснює бездротову передачу даних про стан підшипника, колеса і завчасно попереджає про наявність потенційно небезпечних ситуацій до виникнення відмови. Для вимірювання параметрів і передачі інформації на бортовий приймач використовуються датчики на базі технології RF. Інформація через інтелектуальний інтерфейс спрямовується в комп'ютер, встановлений в кабіні локомотива, а також в зовнішню мережу для аналізу одержуваних даних. Комплект датчиків, розташованих безпосередньо на підшипнику, забезпечує максимально достовірність і захист інформації, а також володіє достатньою вібростійкістю [8].

Визначити технічний стан буксових вузлів рухомого складу, які обладнані касетними конічними підшипниками та прогнозувати їх залишковий ресурс в процесі

експлуатації, шляхом використання вбудованих засобів контролю, дозволяє й вітчизняна розробка науковців.

Стосовно локальних контрольних установок, то в даний час розроблена і знаходиться в експлуатації дистанційна система контролю букс "ДИСК-Б". Її призначення – автоматичне виявлення перегрітих буксових вузлів і видавання інформації: порядковий номер вагона, номер осі у вагоні, бік вагона і загальна кількість перегрітих букс у составі.

Принцип дії – інфрачервоне випромінювання від корпусів букс і підматочинної частини осі з перетворенням її в електричні сигнали. Характеристика дефекту, що виявляється, – перегріта букса: перед ПТО 70–90°C, на ділянці – 140–160°C. Вірогідність – не менше 90 %, виявлення – 90 %.

Розроблена також підсистема виявлення дефектів роликів підшипників (засоби технічної діагностики роликів букс для пункту технічного обслуговування вагонів – "ЗТД-ПТО-Р"). Її призначення – безконтактне виявлення на ходу поїзда дефектних букс, несправність яких не викликає нагрівання буксового вузла. Принцип дії ґрунтується на уловлюванні ультразвукових ударних імпульсів, що характерні для буксового вузла з дефектами підшипників і істотно відрізняються від коливань справного вузла. У такий спосіб виявляються раковини від втоми на доріжках кочення внутрішніх і зовнішніх кілець, тріщини і розриви внутрішніх і зовнішніх кілець, дефекти роликів, відколи бортів.

Для діагностування буксових підшипників колісних пар в деяких вагоноремонтних підприємствах застосовуються спеціальні віброакустичні стенди (рис. 1).

Робота стенда відбувається у такий спосіб: колісні пари з буксовими вузлами 3 встановлюють на опори 2 стенда, що змонтовані на його рамі 1. Обертач 5, взаємодіючи з колісною парою, забезпечує імітацію експлуатаційних режимів роботи буксових вузлів. На буксові вузли встановлюють вібродатчики 4, що фіксують широкий спектр коливань корпусу букси, які генеруються дефектами підшипників.

При віброакустичній діагностиці визначають дефекти, що можуть викликати ударні імпульси: раковини на доріжках кочення кілець, на поверхнях кочення роликів, тріщини, відколи, розриви кілець, роликів, сепаратора.

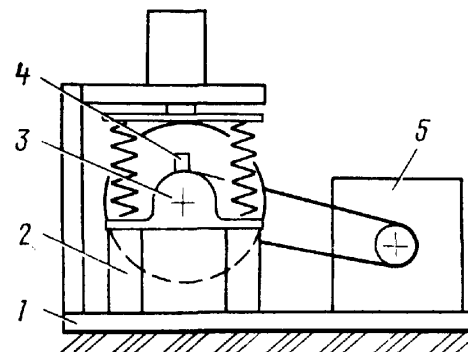


Рис. 1 – Схема стенда для діагностування роликів підшипників буксового вузла

Але треба враховувати й те, що ударні імпульси в підшипниках виникають і при відсутності дефектів: при вході і виході роликів з навантаженої зони відбувається їхнє зіткнення із сепаратором. Дослідження показали, що явно виражена періодичність імпульсів спостерігається при наявності раковин на доріжках

кочення зовнішнього кільця, розташованих у навантаженій зоні підшипника. Ударні імпульси від раковин на внутрішньому кільці групуються в пакки з періодом $T_{\text{вк}}$, що визначаються з виразу

$$T_{\text{вк}} = 1/n_{\text{рп}} \omega_{\text{кп}} [1 - D_{\text{вк}} / 2 (D_{\text{вк}} + d_{\text{р}})], \quad (1)$$

де $n_{\text{рп}}$ – кількість роликів у підшипнику;
 $\omega_{\text{кп}}$ – частота обертання осі колісної пари;
 $D_{\text{вк}}$ і $d_{\text{р}}$ – діаметр внутрішнього кільця і ролика відповідно.

При наявності раковини на поверхні кочення ролика чіткої періодичності проходження окремих імпульсів не спостерігається. Періодичність і кількість імпульсів за один оберт сепаратора можуть змінюватися при зміні напрямку обертання осі і навантаження на буксу. Усереднені спектри віброакустичних сигналів, зафіксованих на буксових вузлах, наведені на рис. 2.

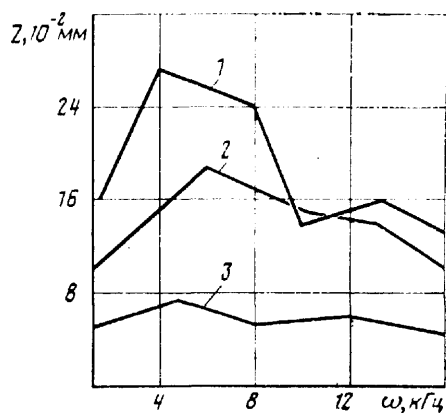


Рис. 2 – Частотні спектри буксових вузлів:

- 1 – з дефектами зовнішнього кільця;
 2 – з дефектами сепаратора; 3 – справні підшипники

Наявність дефекту приводить до збільшення амплітуд окремих складових спектра, на які і необхідно налагоджувати смугові фільтри діагностуючої апаратури. При наявності несправностей (криві 1, 2) амплітуди вібрацій збільшуються у 2 рази і більше та зменшуються паузи між сигналами.

Як діагностичні параметри можна використовувати: амплітудне значення вібрацій у визначеному частотному діапазоні, середнє значення амплітуд сигналів у реалізації за один оберт вала чи сепаратора. Для полегшення процесу встановлення діагнозу в деяких дослідженнях [3] наводяться частоти основних складових збудовувальних сил підшипником, який обертається (табл. 1).

Для діагностування використовується алгоритм, оснований на порівнянні експериментальних і розрахункових імпульсів віброприскорень (рис. 3).

Віброметр 1 фіксує сигнал у широкому частотному діапазоні, що фільтрується в блоці 2. У блоці 3 відбувається виділення інформативних сигналів, які направляються у формувач 4 і блок порівняння 9.

У свою чергу генератор еталонних імпульсів 5 і датчик частоти обертання колеса 7 забезпечують блок 6 вихідною інформацією для генерації опорного (розрахункового) сигналу, що через формувач 8 також подається в блок порівняння 9. Зіставлення сигналів дозволяє блоку 10 видати діагностичну інформацію про справність чи несправності підшипників.

Таблиця 1 – Частоти основних складових збудовувальних сил підшипником

Джерело вібрації	Формули для розрахунку частоти вібрації
Радіальне биття внутрішнього кільця	$n_{\text{вк}}/60$
Овальність внутрішнього кільця	$n_{\text{вк}}/30$
Різномірність кульок	$\left(1 - \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120} n_{\text{тк}}$
Хвилястість і гранність жолоба внутрішнього кільця	$\left(1 + \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120} \omega_{\text{вн}}$
Хвилястість і гранність жолоба зовнішнього кільця	$\left(1 - \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120} \omega_3$
Хвилястість і гранність роликів	$\frac{D_{\text{сд}}}{d_{\text{тк}}} \left[1 - \left(\frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right)^2 \frac{n_{\text{вк}}}{120} n_{\text{тк}}\right]$
Локальні дефекти жолоба внутрішнього кільця	$\left(1 + \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120} n_{\text{тк/вн}}$
Локальні дефекти жолоба зовнішнього кільця	$\left(1 + \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120} n_{\text{тк/з}}$
Неврівноваженість і різностінність сепаратора	$\left(1 - \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120}$
Радіальний зазор у підшипнику	$\left(1 - \frac{d_{\text{тк}}}{D_{\text{сд}}}\right) \frac{n_{\text{вк}}}{120} n_{\text{тк}}$

Примітка. Прийняті позначення у формулах: $n_{\text{вк}}$ – частота обертання внутрішнього кільця, об/хв; $d_{\text{тк}}$ – діаметр тіл кочення; $D_{\text{сд}} = (D_3 + d_{\text{в}})/2$ – середній діаметр підшипника; $D_3, d_{\text{в}}$ – відповідно зовнішній і внутрішній діаметр підшипника; $\omega_{\text{вн}}, \omega_3$ – відповідно число хвиль на жолобі внутрішнього і зовнішнього кільця; $n_{\text{тк}}$ – число тіл кочення

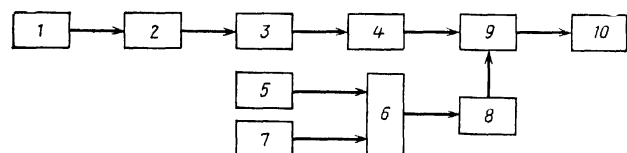


Рис. 3 – Алгоритм діагностування буксових підшипників

Більш досконалим є комплекс оперативної вібродіагностики підшипників кочення (рис. 4).

Комплекс визначає за одним вимірюванням технічний стан і прогнозування залишкового ресурсу підшипників кочення, а також недолік мастила в буксових вузлах при усіх видах ремонту та технічному обслуговуванні.

У процесі діагностування автоматично виконується:

- вибір коефіцієнтів посилення;
- вибір фільтрів для попередньої обробки вібро-сигналу;
- корекція спектрів вібросигналу у залежності від поточного значення обертів;
- отримання діагнозу та залишкового ресурсу підшипників вузла;
- визначення виду дефекту та ступінь його розвитку;
- визначення недоліку мастила в буксах;
- оперативне настроювання на будь-який тип підшипника.

Крім того, комплекс веде базу даних та формує звітні документи.



Рис. 4 – Комплекс оперативної вібродіагностики підшипників кочення

Максимальна ефективність при діагностуванні букс вагонів під час планово ремонту рухомого складу може бути досягнута при використанні зазначеного комплексу й розробленого спеціального пристрою [3], що призначений для керуючих впливів на елементи букс, у процесі виміру діагностичних параметрів при планових видах ремонту без розбирання вузлів.

Подальший розвиток засобів технічної діагностики букс в процесі експлуатації рухомого складу повинно відбуватися при прямому безперервному контролі температури елементів шляхом інтеграції термодатчиків в найбільш інформативні зони букс (як правило, недосяжні для сканування підлоговими пристроями), а про небезпечному нагріванні підшипників буксового вузла може свідчити радіосигнал. У цій технології може бути задіяна вже наявна розвинена мережа постового обладнання типу "ДИСК", "АСДК" та ін.

Висновки:

1. Проведений аналіз публікацій з розробки та використання засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць як з точки зору підвищення рівня надійності рухомого складу, так і зі зростанням їх вартості при використанні.

2. Встановлені пріоритети використання засобів технічного діагностування буксових вузлів й на цій підставі запропоновані до використання найбільш перспективні. Подальший розвиток засобів технічної діагностики букс в процесі експлуатації рухомого складу повинно відбуватися при прямому безперервному контролі температури елементів шляхом інтеграції термодатчиків в найбільш інформативні зони букс, а про небезпечному нагріванні підшипників буксового вузла може свідчити радіосигнал.

3. Перспективними напрямками щодо використання засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць, в процесі планового їх ремонту, вважається комплекс оперативної вібродіагностики підшипників кочення, що визначає за одним вимірюванням технічний стан і прогнозування залишкового ресурсу підшипників, а також недолік мастила або його забруднення в буксових вузлах.

Список літератури

1. Борзилов И.Д. Комплексная разработка проблемы эффективного использования диагностики букс вагонов. *Межвузовский сб. научн. тр. "Совершенствование организации ремонта вагонов и их технического обслуживания"*. Гомель: БелИИЖТ, 1983. С. 22–25.
2. Трестман Е.Е., Лозинский С.Н., Образцов В.Л. *Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах*. М.: Транспорт, 1983. 352 с.
3. Борзилов И.Д. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики: *Навч. посібник*. Харків: УкрДАЗТ, 2003. Ч. 1. 91 с.
4. Поддубняк В.Й., Борзилов И.Д., Петухов В.М. Технология диагностики букс на ходу поезда с использованием радиодатчиков. *Зб. наук. праць*. Донецьк: ДонІЗТ, 2006. Вип. №7. С. 58–61.
5. Регеда В.В., Петухов В.М. Анализ методов контроля букс грузовых вагонов на ходу поезда. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 84. Ч.3. С. 94–98.
6. Петухов В.М. Буксовая диагностическая станция. *Сб. научн. работ*. Донецк: ДонИЖТ, 2008. Вып. № 13. С.96–101.
7. Петухов В.М. Требования к системе непосредственного контроля буксовых узлов с помощью буксовых диагностических станций (БДС). *Сб. научн. работ*. Донецк: ДонИЖТ, 2008. Вып. №14. С.60–63.
8. Равлюк В. Г. Напряж досліджень з вібродіагностування ходової частини рухомого складу. *Зб. наук. праць*. Харків: НТУ "ХПИ", 2008. Вип. 46. С. 112–117.
9. С. Ytuarte. *Railway Age*, 2002, No. 1. Pp. 37–39.
10. M. Schmeja. *Glaser's Annalen*, 2002, 126 *Tagungsband*. Pp. 258–266.

References (transliterated)

1. Borzilov I.D. Kompleksnaya razrabotka problemy effektivnogo ispolzovaniya diagnostiki buks vagonov [Comprehensive development of the problem of efficient use of diagnostics of box cars]. *Intercollegiate collection. scientific. tr. "Improving the organization of repair of wagons and their maintenance"*. Gomel, BelIHT Publ., 1983, pp. 22–25.
2. Trestman E.E., Lozinsky S.N., Obratsov V.L. Avtomatizatsiya kontrolya buksovykh uzlov v poezdakh [Automation of control of axle boxes in trains]. Moscow, Transport Publ., 1983. 352 p.
3. Borzilov I.D. *Udoskonalennya tehnologiyi tehnicnogo obslugovuvannya ta remontu vagoniv zasobami tehnicnoyi diagnostiki* [Improvement of technology of technical maintenance and repair of cars by means of technical diagnostics]. Teaching. manual. Kharkov, UkrDazt Publ., 2003. Ch. 1. 91 p.
4. Poddubnyak V.Y., Borzilov I.D., Petukhov V.M. Tehnologiya diagnostiki buks na hodu poezda s ispolzovaniem radiodatchikov [The technology of diagnostics of boxes on the move of a train using radio sensors]. *Zb. sciences. prac*. Donetsk, 2006. Vol. 7. Pp. 58–61.
5. Regeda V.V., Petukhov V.M. Analiz metodov kontrolya buks gruzovykh vagonov na hodu poezda [Analysis of the methods of controlling the axle boxes of freight cars along the train]. *Zb. sci. prats*. Kharkov, UkrDaST Publ., 2007. Vol. 84. P.3. Pp. 94–98.
6. Petukhov V.M. Buksovaya diagnosticheskaya stantsiya [The book diagnostic station]. *Sb. scientific. works*. Donetsk, DonIHT Publ., 2008. Vol. 13. Pp. 96–101.
7. Petukhov V.M. Trebovaniya k sisteme neposredstvennogo kontrolya buksovykh uzlov s pomoshyu buksovykh diagnosticheskikh stancij (BDS) [Requirements to the system of direct control of the axle boxes by means of the diagnostic diagnostic stations (BDS)]. *Sb. scientific. works*. Donetsk, DonIHT Publ., 2008. Vol. 14. Pp. 60–63.
8. Ravlyuk V.G. Napryam doslidzhen z vibrodiagnostuvannya hodovoyi chastiny ruhomogo skladu [Straight dossier from the vibrodiagnostuvannya chodovoi part of the rukhomogo warehouse]. *Zb. sciences. prac*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2008. Vol. 46' 2008. Pp. 112–117.
9. С. Ytuarte. *Railway Age*, 2002, No 1. Pp. 37–39.
10. M. Schmeja. *Glaser's Annalen*, 2002, 126 *Tagungsband*. Pp. 258–266.

Надійшла (received) 10.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Борзилов Іван Дмитрович (Борзилов Иван Дмитриевич, Borzilov Ivan) – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри вагонів; м. Харків, Україна; e-mail: borzilov49@gmail.com

Калуга Ганна Анатоліївна (Калуга Анна Анатолієвна, Kaluga Anna) – Український державний університет залізничного транспорту, магістрант заочної форми навчання Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів групи МЗ-TEMPUS-17-В; м. Харків, Україна; e-mail: annakaluga@mail.ru