

УДК 629.4.027.11

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36080

# РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗДВОЄНИХ КАСЕТНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПІДШИПНИКІВ В БУКСАХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Одним з важливих етапів створення буксового вузла нової конструкції являється проведення експлуатаційних випробувань, для підтвердження показників надійності об'єкту. В статті представлено результати експлуатаційних випробувань здвоєних підшипників касетного типу СВУ в буксах вантажних вагонів. Використання подібних підшипників дозволить збільшити надійність буксових вузлів, перейти на іншу систему технічного обслуговування

**Ключові слова:** буксовий вузол, здвоєний циліндричний підшипник, відмова, надійність, прискорені випробування, ресурс

Одним из важных этапов создания буксового узла новой конструкции является проведение эксплуатационных испытаний, для подтверждения показателей надежности объекта. В статье представлены результаты эксплуатационных испытаний сдвоенных подшипников касетного типа СВУ в буксах грузовых вагонов. Использование подобных подшипников позволит увеличить надежность буксовых узлов, перейти на другую систему технического обслуживания

**Ключевые слова:** буксовый узел, сдвоенный цилиндрический подшипник, отказ, надежность, ускоренные испытания, ресурс

**І. Е. Мартинов**

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: martinov.hiit@rambler.ru

**В. М. Ільчишин\***

E-mail: vadim\_shovkun@mail.ru

**Є. Р. Можейко\***

E-mail: vadim\_shovkun@mail.ru

**А. В. Труфанова**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: alena.hiit@rambler.ru

**В. О. Шовкун**

Аспірант\*

E-mail: vadim\_shovkun@mail.ru

\*Кафедра «Вагони»

Українська державна академія

залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

## 1. Вступ

Залізничний транспорт – один з найважливіших елементів транспортної системи, що забезпечує різні сфери матеріального і нематеріального виробництва в народному господарстві України, а також інші потреби населення в усіх видах перевезень. В той же час, це один з найбезпечніших та ефективних способів переміщення вантажів та пасажирів, як в межах, так і за межами країни. Тому для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті завжди пред'являлися високі вимоги до надійності рухомого складу.

Особливо це стосується питань забезпечення надійності буксових вузлів вагонів в експлуатації, оскільки від їх безвідмовної роботи безпосередньо залежить безпека руху потягів.

Це підтверджується даними розподілу причин, що викликали транспортні події, віднесені за вагонним господарством, за період 1995–2014 рр. З яких видно що понад 40 % усіх транспортних подій сталися через несправності буксового вузла.

Очевидно, що саме відмови буксового вузла викликали переважну більшість транспортних подій.

Під терміном «надійність» розуміється властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування [1].

Вагон, як одиниця рухомого складу, складається з великої кількості вузлів, від працездатності яких, залежить надійність вагона в цілому. Важливим елементом ходових частин вагону є буксові вузли. Тому підвищення показників їх надійності є актуальним та важливим питанням. В той же час багаторічний досвід експлуатації буксових вузлів свідчить, що теоретичні розрахунки не завжди підтверджуються результатами експлуатації.

## 2. Аналіз попередніх досліджень та постановка проблеми

Основним елементом буксового вузла вантажного вагона є роликівий підшипник. Саме його технічний стан головним чином впливає на надійність буксового вузла. Зусилля багатьох дослідників спрямовані на

підвищення надійності як буксових підшипників, так у буксового вузла в цілому.

Питанням підвищення надійності ходових частин рухомого складу, а зокрема буксовим вузлом присвячено багато наукових праць.

В роботі [1] проведено дослідження кінематики підшипників, дослідження напруженості сепаратора буксового підшипникового вузла досліджені автором роботи [2, 3]. Важливим завданням для забезпечення безвідмовної роботи підшипника є забезпечення потрібних умов посадки підшипника на вісь колісної пари досліджених автором в роботі [4] Питання динаміки підшипників кочення розглянуті в роботах [5, 6]. Питанням організації та проведення випробувань присвячено низку публікацій у галузевій літературі. Так, в статті [7] розглянуто проблеми створення методів прискорених еквівалентних випробувань підшипників за визначенням ресурсу в умовах їх експлуатації, основні критерії оцінки пошкоджень підшипників і межі посилення режимів випробувань. В роботі [8] розглядаються методи моделювання прискорених ресурсних випробувань технічних систем на надійність, ресурс, що дозволяють отримувати додатковий ефект як в плані скорочення тривалості випробувань, так і підвищення рівня їх адекватності експлуатаційних випробувань. Автори в роботі [9] розглядають найбільш ефективні методи випробувань на надійність. Науковцями в роботі [10] проведено аналіз деяких варіантів прискорених випробувань вагонних конструкцій на втому. Автори дослідження [11] пропонують розрахункові залежності для визначення надійності ходових частин. Необхідно окремо виділити результати дослідження [12], де виконана спроба провести розрахунок надійності за умови відсутності відмов при прискорених випробуваннях. Проте в наведених вище роботах не розглянуті питання перерахунку результатів, отриманих за одних умов випробувань на інші експлуатаційні режими, які більш повно розглянуті в роботах [13–15]. У залізничній науці з урахуванням необхідності забезпечення безпеки руху завжди найважливіша роль приділялася проведенню експлуатаційних випробувань нових і модернізованих конструкцій вагонів та їх вузлів, оскільки остаточний висновок про переваги і недоліки тієї або іншої конструкції елемента вагона можна зробити лише після підтвердження цих переваг в ході експлуатаційних випробувань.

Важливим питанням є адаптація усіх вищезгаданих результатів досліджень, в напрямку проведення випробувань та аналізу надійності, до вагонного буксового підшипникового вузла що є досить складним завданням.

### 3. Мета та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету в ході експлуатаційних випробувань виконати оцінку працездатності букс, обладнаних дослідними здвоєними роликотими циліндричними підшипниками касетного типу, в реальних умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

– Провести та зібрати данні експлуатаційних випробувань буксових підшипникових вузлів.

– На основі отриманих результатів випробувань розрахувати показники надійності буксового вузла обладнаного здвоєним касетним підшипником циліндричного типу.

– За розрахованими показниками надійності зробити висновок щодо надійності та доцільності використання випробовуваних підшипників.

### 4. Результати оглядів циліндричних підшипників під час експлуатаційних випробувань

В час швидкого розвитку техніки, в умовах ринкової економіки, постає питання в зменшенні витрат часу та ресурсів на проведення випробувань, перед вводом нових та вдосконалених розробок в експлуатацію. Відомо, що у вузлі вагонів при проектуванні закладається висока довговічність. Тому може скластися така ситуація, що нову конструкцію навіть до першої відмови доведеться випробовувати такий тривалий термін, що вона застаріє навіть не фізично, а морально. А може статися так, що відмов не буде зовсім. Але це зовсім не означає, що вагон володіє абсолютною безвідмовністю. Просто мало кількість об'єктів, що випробовуються, або недостатня тривалість випробувань.

Необхідно врахувати, що рівень надійності вагонів як в цілому, так і їх вузлів в тому числі багато в чому визначається умовами експлуатації. Як на стадії проектування, так і під час стендових випробувань неможливо передбачити і змоделювати всі можливі режими експлуатації. Тому практично завжди основним аргументом на користь тієї або іншої конструкції є результати експлуатаційних випробувань.

За останні роки на залізницях України розпочалася експлуатація підшипників касетного типу, які можуть бути дворядними конічними (ТВУ) або циліндри тими (СВУ). З метою вибору найбільш раціональної конструкції буксових вузлів Українською державною академією залізничного транспорту по замовленню Державної адміністрації залізничного транспорту України був проведений комплекс експлуатаційних випробувань для визначення показників надійності перспективних конструкцій. Експлуатаційні випробування дослідних буксових вузлів проходили в реальних умовах експлуатації на маршруті Роковата-Ужгород.

У 2012–2013 роках фахівцями кафедри «Вагони» Української державної академії залізничного транспорту згідно завдання Державної адміністрації залізничного транспорту України за участю інших зацікавлених організацій були проведені випробування здвоєних касетних підшипників СВУ виробництва «Саратовський підшипниковий завод» (Росія). Дослідними підшипниками були обладнані два напіввагони. Протягом всього часу експлуатації відбувся ретельний облік пробігу колісних пар як у завантаженому, так і у порожньому стані. Під час оглядів проводився зовнішній огляд букс, перевірялась надійність кріплення кришок, контролювався стан торцевого кріплення і мастила, наявність іржі на посадковій поверхні колеса, стан поверхні кочення колеса (його знос, кількість обточок та наявність інших дефектів).

Після проходження дослідними напіввагонами встановленого програмою-методикою пробігу в

70 тис. км, дослідні вагони були подані в вагонне депо «Мудрьона» Придніпровської залізниці для проведення повної ревізії буксових вузлів.

Вагони були оглянуті комісією у складі представників всіх зацікавлених сторін (пробіг вагону на момент огляду склав 81,2 тис. км). Візуальний огляд вагонів з дослідними підшипниками показав, що всі буксові вузли знаходяться в задовільному стані, зовнішніх ознак несправностей не виявлено.

Демонтаж підшипників виконувався методом холодного розпресування. Після демонтажу та огляду всі підшипники було обрито та представлено для проведення ревізії.

Під час огляду колісних пар виявлені дефекти на поверхні шийок осей колісних пар механічного походження. Після демонтажу всі підшипники було обрито та представлено для огляду. В ході огляду комісією здвоєних підшипників не було виявлено найбільш розповсюджені пошкодження буксових вузлів з типовими циліндричним підшипниками: наявність задирок типу «ялинка» на торцях роликів та бортах кілець та послаблення торцевого кріплення. Однак при перевірці, на доріжках кочення зовнішніх та внутрішніх кілець виявлено наминки та ознаки луціння металу. Також на робочій поверхні роликів виявлено окремі точки невідомого походження.

#### 4. Оцінка показників надійності підшипників за результатами їх експлуатаційних випробувань

Під час випробувань не було виявлено випадків відмов буксових вузлів, але це зовсім не означає, що буксові вузли мають 100-відсоткову імовірність безвідмовної роботи. Це можна пояснити недостатньою кількістю виробів, що випробовуються, або недостатньою тривалістю випробувань. Але, оскільки буксові підшипникові вузли є високонадійними технічними виробами, тривалість випробувань за умови повної відмови всіх дослідних зразків може затягнутися на роки або навіть на десятиріччя. Це неприйнятно в першу чергу з економічних причин, тощо експлуатаційні випробування є дуже матеріально затратними заходами. Крім того в умовах експлуатації неможливо проводити випробування буксового вузла до його відмови, так як, це призведе до порушення безпеки руху поїздів.

Враховуючи обмежені терміни випробувань та малу кількість дослідних підшипників, оцінка показників надійності була виконана на основі методів теорії інформації [16].

Кількісна оцінка показників надійності може бути одержана за допомогою проведення випробувань технічних пристроїв з подальшою статистичною обробкою результатів експерименту. Проте саме твердження про близькість відносної частоти до вірогідності при великому числі дослідів теж має імовірнісний характер. Причому із зростанням числа об'єктів випробувань оцінка наближається до дійсної вірогідності і збільшується впевненість в правильності оцінки [17].

Як указувалося раніше, під надійністю елементів вагона розуміється властивість зберігати працездатність в певних режимах і умовах експлуатації. Надійність є одним з технічних параметрів пристрою. Найчастіше як кількісна міра надійності приймається

імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу.

Проте особливістю визначення імовірності безвідмовної роботи є те, що її неможливо зміряти безпосередньо, як інші фізичні величини - силу струму, тиск рідини, температуру повітря. Фактично твердження про існування у події деякої імовірності  $p$  означає, що в серіях випробувань відносні частоти появи події будуть приблизно однакові і близькі  $p$ . Тобто сенс вірогідності настання певної події полягатиме у відносній частоті  $p'$  появи даної події при достатньо великому числі дослідів.

Статистичні оцінки доцільно виражати за допомогою деякого довірчого інтервалу з вказівкою довірчої імовірності  $p$ , що цей інтервал накріє дійсне значення невідомого параметра. Вказаний метод статистичних оцінок за допомогою довірчих інтервалів набув поширення на практиці. Чим вища довірна імовірність  $p$ , тим ширше пов'язаний з нею інтервал, і навпаки. При фіксованих результатах експерименту залежно від встановленої довірчої імовірності може бути одержано безліч різних довірчих інтервалів для оцінки параметра. Природно, виникає питання, який з цих інтервалів слід вибрати як оптимальний і які підстави такого вибору? Відомо лише, що довірна імовірність  $p$  вибирається наперед на підставі деяких емпіричних даних. Для елементів конструкції вагона найчастіше приймають  $p = 0,8; 0,9; 0,95$  або  $0,99$ , пов'язуючи їх вибір із ступенем відповідальності функцій.

Існуючі нормативні документи, на підставі яких проводиться визначення обсягу і тривалості випробувань, також широко використовують наведені вище положення.

Проте обсяг і тривалість випробувань, як правило, обмежені технічними, часовими і економічними чинниками. Крім того, часто при випробуваннях на безвідмовність і довговічність пристроїв з високими вимогами до рівня надійності жодний з обмеженого числа  $n$  випробовуваних пристроїв не відмовляє навіть, якщо час випробувань достатньо великий (а іноді і рівний терміну їх служби). Так, наприклад, середній термін служби литих деталей автозчеплень і візків складає 15–20 років, 90-відсотковий ресурс буксових підшипників дорівнює 1,5 млн. км пробігу. Тому цілком реальна ситуація, що протягом експлуатаційних випробувань, які тривають 2–3 роки, жоден з випробовуваних виробів не відмовить. Але це зовсім не означає, що вироби мають 100-відсоткову імовірність безвідмовної роботи. Просто недостатня кількість виробів або тривалість випробувань. В цьому випадку нижня межа  $P_H$  довірчого інтервалу  $\xi$  з довірчою імовірністю  $\beta$  визначається виразом  $P_H = \sqrt[1-\beta]$ , а верхня межа, природно, дорівнює одиниці.

Для вирішення даного завдання доцільно скористатися наявністю певної кількості інформації, що міститься в кожній з оцінок.

При визначенні показників надійності до випробувань фактичне значення імовірності безвідмовної роботи пристрою невідомо. Можна лише стверджувати, що воно знаходиться в інтервалі від 0 до 1 і може мати  $N$  можливих дискретних значень  $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_N$  з відповідною апріорною вірогідністю  $Q(p_1), Q(p_2), \dots, Q(p_N)$ .

Під точністю  $\Delta$  оцінки розумітимемо відношення діапазону  $D$  можливих значень невідомої імовірності

р до їх кількості N. У даному випадку діапазон можливих значень р дорівнює одиниці та

$$\Delta = \frac{1}{N}. \quad (1)$$

Основним завданням проведення випробувань є зняття невизначеності, що існувала до їх проведення. Величина ІБР може з деякою апіорною вірогідністю мати будь-яке з можливих значень. Після випробувань в граничному випадку можна було б достовірно і із заданою точністю вказати конкретне фактичне значення надійності. Невизначеність, що існувала до випробувань, була б повністю знята, і завдання експерименту виконане. Проте після проведення статистичного експерименту обмеженого обсягу достовірний вибір невідомого значення надійності не може бути зроблений, а може лише змінюватися імовірність можливих значень надійності і стануть рівними  $Q(\rho_1/\rho^*), Q(\rho_2/\rho^*), \dots, Q(\rho_i/\rho^*), \dots, Q(\rho_N/\rho^*)$ . Невизначеність ситуації зменшиться, але не буде усунена повністю.

Відомо, що кількісною характеристикою невизначеності величини є її ентропія, що дає міру інформації про стан об'єкта, якої бракує. Звідси витікає, що як міра знятої невизначеності може розглядатися кількість інформації (функція числа та імовірностей можливих відповідей до і після отримання інформації), одержаної в результаті проведення експерименту.

Кількість інформації, що міститься в події  $u_k$  відносно події  $x_k$  визначається логарифмом відношення імовірності події  $x_k$  після і до того, як мала місце подія  $u_k$

$$i(x_i, y_i) = \log \frac{Q(x_i, y_i)}{Q(x_i)}. \quad (2)$$

Якщо подія  $x_i$  є елементом системи подій X, а подія  $y_i$  – елементом системи подій Y, то в середньому на будь-яку реалізацію пари випадкових подій  $(x_i, y_i)$  доводиться кількість інформації

$$I(X, Y) = \sum_{k=1}^{k=L} \sum_{i=1}^{i=N} Q(x_i, y_k) \cdot i(x_i, y_k), \quad (3)$$

де  $Q(x_i, y_k)$  - імовірність появи пари подій  $(x_i, y_k)$ .

Величина  $I(X, Y)$  містить середню кількість інформації про один ансамбль подій щодо іншого, характеризуючи відповідність ансамблів у цілому.

Якщо N можливих значень імовірності  $\rho$  дорівнює  $\rho_1, \dots, \rho_i, \dots, \rho_N$ , то апіорна ентропія H ситуації визначається виразом

$$H = - \sum_{i=1}^{k=N} Q(\rho_i) \cdot \log Q(\rho_i), \quad (4)$$

де  $Q(\rho_i)$  - апіорна імовірність  $\rho_i$  і-го можливого значення  $\rho$ .

У тому випадку, якщо всі апіорні значення  $\rho$  рівноімовірні та їх імовірність дорівнює  $1/N$ , то

$$H_0 = - \sum_{i=1}^{i=N} \log \left( \frac{1}{N} \right) = \log N. \quad (5)$$

Хай після проведення статистичного експерименту, при якому реалізувалася оцінка надійності  $\rho_k^*$  (у разі відсутності відмов  $\rho_k^* = 1$ ), імовірності значень  $\rho$  змінились і для і-го можливого значення  $\rho$  стали

рівними  $Q(\rho_i / \rho_k^*)$ . Середня кількість інформації, що міститься в результатах експерименту з результатом  $\rho_k^*$ , визначається виразом

$$I^* = \sum_{i=1}^{i=N} Q(\rho_i / \rho_k^*) \cdot \log \frac{Q(\rho_i / \rho_k^*)}{Q(\rho_i)}. \quad (6)$$

Розіб'ємо множину N можливих значень  $\rho$  на дві групи і розглядатимемо двох альтернативну ситуацію про приналежність невідомого значення  $\rho$  до однієї з цих груп. В цьому випадку середня кількість інформації I, яка міститься в результатах експерименту з результатом  $\rho_k^*$ , дорівнюватиме:

$$I^* = \sum_M Q(\rho_i / \rho_k^*) \cdot \lg \frac{\sum_M Q(\rho_i / \rho_k^*)}{\sum_M Q(\rho_i)} + \sum_{N-M} Q(\rho_i / \rho_k^*) \cdot \lg \frac{\sum_{N-M} Q(\rho_i / \rho_k^*)}{\sum_{N-M} Q(\rho_i)}, \quad (7)$$

де M – безліч значень  $\rho$  однієї групи, а N-M – іншої групи.

Зокрема, одна з груп може містити тільки одне значення  $\rho$ .

Якщо M=1 і до проведення експерименту значення розглядалися як рівноімовірні, а після імовірність  $Q(\rho_i / \rho_k^*)$  і одного з них (єдиного, такого, що входить до групи M), стала дорівнюватиме одиниці, то тоді:

$$I = 1 \cdot \log \frac{1}{1/N} + 0 \cdot \log \frac{1}{(N-1)/N} = \log N. \quad (8)$$

Таким чином, кількість одержаної інформації буде чисельно рівна апіорній ентропії  $H_0$ .

При зміні обсягу груп (наприклад, при збільшенні M) середня кількість одержаної інформації також змінюватиметься і при M=N стане рівною нулю, оскільки N-M=0, а  $\sum_N Q(\rho_i / \rho_k^*) = \sum_N Q(\rho_i) = 1$ . Насправді, якщо одна з груп включає все N можливих значень імовірності  $\rho$  безвідмовної роботи, то з достовірністю можна стверджувати, що невідоме значення  $\rho$  належить цій групі. Твердження, що значення надійності пристрою лежить між нулем і одиницею, могло б бути зроблено і до проведення випробувань. Подібна інтерпретація результатів експерименту дає кількість інформації, рівну нулю, що відповідає інтуїтивним уявленням.

Ототожнюючи групу M з довірчим інтервалом  $\xi$ , який з вірогідністю  $\beta$  накриває невідоме значення  $\rho$ , можна укласти, що кількість інформації в результаті експерименту, визначаювана виразом, залежить від вибору довірчого інтервалу, а сам вибір може бути оптимізований на основі дослідження залежності кількості одержаної інформації від вибраної статистичної оцінки надійності.

Якщо M – підмножина множини N можливих значень ІБР  $\rho$ , накриваних довірчим інтервалом  $\xi$ , то апіорна  $\alpha$  та апостеріорна  $\beta$  довірна імовірність події, яка полягає в тому, що невідома величина ІБР накрита інтервалом  $\xi$ , дорівнює

$$\alpha = \sum_M Q(\rho_i), \quad (9)$$

$$\beta = \sum_M Q(\rho_i / \rho_k^*). \quad (10)$$

У цьому випадку кількість одержаної інформації відповідно до (8) буде дорівнювати

$$I = \beta \cdot \log \frac{\beta}{\alpha} + (1 - \beta) \cdot \log \frac{1 - \beta}{1 - \alpha}. \quad (11)$$

Кількість отриманої інформації  $I$  зростає зі збільшенням обсягу експерименту, а при фіксованому обсязі ( $n = \text{const}$ ) залежить від вибору статистичної оцінки. Оскільки основним завданням експерименту є зняття невизначеності, що існувала до його проведення, природним критерієм оптимальності статистичних оцінок є відношення одержаної інформації до ентропії  $H_0$

$$\gamma = \frac{I}{H_0}. \quad (12)$$

Чим ближче цей критерій до одиниці, тим більш вдалий вибір відповідної статистичної оцінки. Оптимальна оцінка, яка при відомій кількості об'єктів випробувань ( $n = \text{const}$ ) відповідає максимуму одержаної інформації, має найменшу невизначеність в порівнянні з іншими можливими оцінками, тобто є якнайкращим в даних умовах вирішення поставленої задачі.

З іншого боку, очевидно, що в даному випадку величина  $\alpha$  чисельно дорівнює довірчому інтервалу  $\xi$

$$\alpha = \xi = 1 - \sqrt{1 - \beta}. \quad (13)$$

Оптимізація довірчого інтервалу в даному випадку полягає у виборі довірчого інтервалу  $\xi$  (або довірчої імовірності  $\beta$ ), при якій критерій  $\gamma$  буде максимальний. Тобто завдання зводиться до відшукування максимуму виразу (11) при фіксованій кількості об'єктів випробувань. Це можна зробити аналітично шляхом безпосереднього диференціювання або розв'язати рівняння (11) чисельно.

Розрахунки за наведеною вище методикою свідчать, що при 16 підшипниках максимум корисної інформації буде одержаний в тому випадку, якщо ми приймемо довірчу імовірність 0,94 (рис. 1).

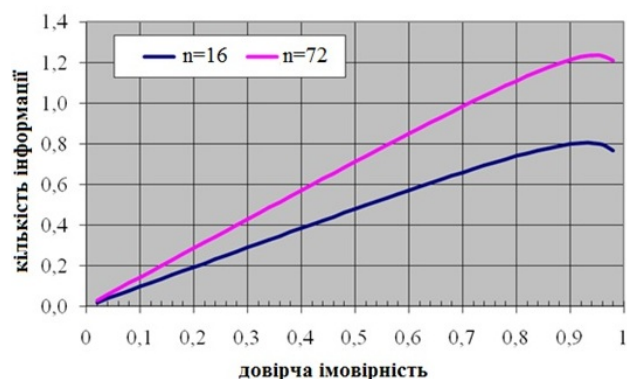


Рис. 1. Кількості інформації, яку отримуємо від кількості випробувань об'єктів.

При цьому кількість одержаної інформації складе 0,8. Тоді нижня межа імовірності безвідмовної роботи складе 0,889, а верхня межа, відповідно, 1.

Такий високий розбіг показників викликаний недостатньою кількістю об'єктів випробувань (лише 2 вагони та 16 здвоєних підшипників).

## 6. Висновки

В ході роботи проведені експлуатаційні випробування буксових вузлів. Результатом проведених випробувань встановлено, що циліндричні здвоєні підшипники касетного типу мають більшу працездатність у порівнянні з типовими циліндричними підшипниками.

На основі отриманих даних розраховані показники безвідмовної роботи дослідних підшипникових вузлів. Оцінка показників надійності була виконана на основі методів інформаційної статистичною оцінки надійності. Нижня межа імовірності безвідмовної роботи складе 0,889, а верхня межа, відповідно, 1. Такий високий розбіг показників викликаний недостатньою кількістю об'єктів випробувань (лише 2 вагони та 16 здвоєних підшипників).

В той же час кількість об'єктів випробувань недостатня для того, щоб зробити аргументовані висновки щодо переваг даної конструкції. На підставі отриманих даних рекомендовано для забезпечення ефективної роботи залізниць України провести дослідну експлуатацію дослідно-промислової партії вагонів у кількості не менше 100 шт. під наглядом всіх зацікавлених сторін за умови забезпечення безпеки руху поїздів.

## Література

1. Гайдамака, А. В. Модели кинематики и динамики цилиндрических роликоподшипников железнодорожного транспорта [Текст] / А. В. Гайдамака // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014. – № 3. – С. 51.
2. Симсон, Э. А. Расчет напряженно-деформированного состояния сепаратора подшипника качения [Текст] / Э. А. Симсон, В. В. Овчаренко, Ю. А. Шевчук // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – Вып. 37. – С. 142–145.
3. Аверин, Н. А. Исследования нагруженности полиамидных сепараторов для буксовых подшипников методом конечных элементов [Текст] / Н. А. Аверин, О. А. Русанов, С. Г. Иванов // Вестник ВНИИЖТа. – 2007. – № 3. – С. 24–29.
4. Михайліченко, П. Є. Характер та величина зносу деталей пресового з'єднання буксового вузла вагонів [Текст] / П. Є. Михайліченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вып. 6. – С. 92–101.
5. Sakaguchi, T. Dynamic Analysis of Cage Stress in Tapered Roller Bearings [Text] / T. Sakaguchi, K. Harada // Proc. ASIATRIB. – Kanazawa, 2006. – P. 649–650.
6. Harris, T. Rolling bearing analysis [Text] / T. Harris. – New York, 2006. – 760 p.
7. Санчугов, В. И. Основные проблемы создания средств и методов ускоренных эквивалентных испытаний подшипников [Текст] / В. И. Санчугов, С. С. Мещеряков // Научный журнал «Известия самарского научного центра РАН». – 2007. – Т. 9, № 3. – С. 831–839.
8. Гишваров, А. С. Моделирование ускоренных испытаний технических систем на надежность и ресурс [Текст] / А. С. Гишваров // Вестник Уфимского Государственного авиационного технического университета. – 2007. – Т. 9, № 1. – С. 26–40.

9. Zaharia, S. Reliability Tests [Text] / S. Zaharia, I. Martinescu // Transylvania University Press, Brasov, 2012.
10. Кузьмич, Л. Д. Ускоренные испытания вагонных конструкций на усталостную прочность. [Текст] / Л. Д. Кузьмич // Труды ВНИИВ. – 1971. – Вып. 14. – С. 31–33.
11. Деркач, Б. А. О методах определения надежности деталей ходовых частей при проектировании [Текст] / Б. А. Деркач // Труды ВНИИВ. – 1976. – Вып. 30. – С. 41–43.
12. Артамоновский, В. П. Оценка надежности модернизированных рам тяжелых электропоездов при отсутствии отказов в опытной партии. [Текст] / В. П. Артамоновский, Б. А. Деркач // Труды ВНИИВ. – 1978. – Вып. 34. – С. 51–53.
13. Мартинов, І. Е. До питання створення моделі відмов буксових роликів і шпінників. [Текст] / І. Е. Мартинов, Е. Д. Тартаковський, І. Е. Мартинов, П. А. Устич // Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. – 2008. – Вип. 96. – С. 154–158.
14. Мартинов, І. Е. Планування випробувань високонадійних вузлів вагонів. [Текст] / І. Е. Мартинов // Транспортні системи і технології КУЕТТ. – 2005. – № 7. – С. 79–83.
15. Мартинов, І. Е. Визначення показників надійності букс за результатами випробувань [Текст] / І. Е. Мартинов // Харків: УкрДАЗТ. – 2005. – Вип. 56 – С. 191–198.
16. Рипс, Я. А. Информационный аспект статистической оценок надежности. [Текст] / Я. А. Рипс // Автоматика и телемеханика. – 1967. – № 7. – С. 140–150.
17. Фано, Р. Передача информации [Текст] / Р. Фано. – Статистическая теория связи. – Изд-во «Мир», 1965. – 231 с.

*Представлені математичні моделі ручної шліфувальної машини ИП2014П і виконаний їх аналіз в режимах холостого і робочого ходу. Наведено результати аналізу вимог діючих стандартів до невірності мас абразивних кіл. Зроблена оцінка вібраційної безпеки праці ручної шліфувальної машини в режимах робочого і холостого ходу*

*Ключові слова: ручна шліфувальна машина, вібрації, віброшвидкість, абразивний круг, дисбаланс, математична модель*

*Представлены математические модели ручной шлифовальной машины ИП2014П и выполнен их анализ в режимах холостого и рабочего хода. Приведены результаты анализа требований действующих стандартов к неуравновешенности масс абразивных кругов. Произведена оценка вибрационной безопасности работы ручной шлифовальной машины в режимах рабочего и холостого ход*

*Ключевые слова: ручная шлифовальная машина, вибрации, виброскорость, абразивный круг, дисбаланс, математическая модель*

УДК 621.922 : 62–752

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37848

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ РУЧНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ИП2014П

**Д. В. Сталинский**

Доктор технических наук, профессор,  
генеральный директор\*  
E-mail: energostal@energostal.org.ua

**Ю. А. Сизый**

Доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник\*

**П. В. Романченко**

Начальник отдела\*  
E-mail: romanchenko@energostal.kharkov.ua

\*Государственное предприятие  
«Украинский научно-технический центр  
металлургической промышленности «Энергосталь»  
пр. Ленина, 9, г. Харьков, Украина, 61166

### 1. Введение

В условиях современного производства одним из распространенных неблагоприятных факторов внешней среды являются вибрации.

В различных отраслях народного хозяйства, таких как металлургия, машиностроение, судостроение имеют широкое распространение ручные шлифовальные машины (РШМ), применяемые для зачистки проката, сварных швов, острых кромок деталей и других операций. Работа этими машинами сопровождается вибрациями, оказывающими вредное воздействие на оператора машины.

Вибрации РШМ исследуются экспериментально, аналитически и на компьютерных моделях, которые все время совершенствуются.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Экспериментальные исследования вибраций РШМ представлены в работах [1, 2] которые показывают, что уровень вибраций РШМ превышает допустимые санитарными нормами значения в 1,7–5 раз. В работе [2] отмечено, что важнейшим источником вибра-