

## АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ БУКСОВИХ ПІДШИПНИКІВ КРИТИХ ВАГОНІВ

Ільчишин В. М.

### THE ANALYSIS OF RELIABILITY OF AXLEBOXES BEARINGS OF COVERED FREIGHT CARS

Ichishyn V.

*Розглянуто результати обстеження технічного стану буксових вузлів критичних вантажних вагонів власності ДП "Укррефтранс". Визначено основні пошкодження циліндричних роликових підшипників. Запропонована імовірнісна модель надійності циліндричних роликових підшипників. Виконаний порівняльний аналіз надійності буксових підшипників, що використовуються в різних типах ґру-газових вагонів.*

***Ключові слова:** циліндричний буксовий підшипник, відмова, надійність, середній строк служби, закон розподілу напруцювання.*

**Постановка проблеми.** Забезпечення безпеки руху на залізницях України є пріоритетним напрямком у технічній політиці Державної адміністрації залізничного транспорту України. Враховуючи масовість парку вантажних вагонів, очевидно, що технічний стан їх елементів та безпеку руху безпосередньо пов'язані між собою.

Як свідчить аналіз причин випадків порушень безпеки у вагонному господарстві, значна частка відмов вагонів викликана відмовами роликових букс.

Буксовий вузол складається з багатьох елементів, але найбільш технологічним та відповідальним є роликовий підшипник. Для забезпечення надійної та безвідмовної роботи буксових вузлів вантажних вагонів з підшипниками кочення необхідно вивчити причини виникнення пошкоджень буксових підшипників, встановити різні експлуатаційні та інші фактори, що впливають на їх безаварійну роботу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема підвищення надійності елементів буксових вузлів розглядалася протягом останніх десятиліть в роботах В. М. Цюренко [1] та інших фахівців ВНІЗТ [2]. Аналіз причин недостатньої надійності буксових вузлів вантажних вагонів виконаний в статті [3]. В дослідженнях Б. Н. Покровського [4] вперше було поставлено питання визначення показників надійності залізничних циліндричних роликових

підшипників в умовах знеособленої експлуатації. Окремо необхідно виділити дослідження, присвячені підвищенню надійності буксових вузлів вагонів, які виконувались на кафедрі "Вагони" УкрДАЗТ проф. Мартиновим І. Е. [5] та А. В. Труфа-новой [6].

Але у зазначених дослідженнях надійності підшипників кочення буксових вузлів вантажних вагонів не враховувались особливості експлуатації останніх. Згідно з вимогами "Інструкції...[7] ремонт колісних пар та буксових вузлів раніше був знеособлений, тобто вантажні вагони не мали власника і повна ревізія букс здійснювалась у будь-якому вагоноремонтному підприємстві. Відповідно, після кожної повної ревізії проводилась нова комплектація буксових підшипників. В умовах сьогоденної експлуатації, коли ремонт вагонів не є знеособленим і відомі данні про умови експлуатації підшипників, стало можливим більш точно оцінити технічний стан та визначити надійність існуючої конструкції циліндричних підшипників буксових вузлів вантажних вагонів з урахуванням особливостей їх експлуатації.

**Мета.** Метою роботи є порівняльний аналіз надійності циліндричних буксових підшипників, що використовуються у буксах критичних вантажних вагонів у порівнянні із надійністю циліндричних буксових підшипників, що використовуються у вантажних вагонах інших типів.

**Результати досліджень.** Для аналізу надійності буксових підшипників використовувались дані ДП "Укррефтранс" за період з січня по серпень 2012 року. В якості джерела інформації використовувались журнали форми ВУ-91, які ведуться в роликових відділеннях вагоноремонтних підприємств. В цих журналах указується позначення рік випуску підшипника, завод-виготовлювач і відповідні несправності згідно з вимогами нормативного документу "Класифікація..." [8].

Обсяг вибірки склад майже шістнадцять тисяч підшипників.

Рис. 1. Співвідношення між пошкодженими деталями підшипників

З метою отримання даних, придатних для подальшої статистичної обробки, всі несправності підшипників були умовно розділені на чотири групи:

- дефекти втомного походження (раковини, лушення на кільцях та роликах);



- корозійні пошкодження на кільцях та роликах (в тому числі і точкова корозія);
- дефекти раптового походження (злами, тріщини, відколи);
- пошкодження сепараторів.

В результаті обробки отриманої інформації встановлено, що 85% оглянутих підшипників мають пошкодження різного ступеня тяжкості, з яких 2% оглянутих підшипників не підлягають відновленню. Аналіз отриманих даних свідчить про те, що найбільш часто з ладу виходять зовнішні кільця - 70%. Підшипники виявляються несправними по причині виходу з ладу роликів - в 18% випадків несправності, а внутрішні кільця несправні у 12%. (рис. 1).

Слід зазначити, що пошкодження сепараторів були виключені з розгляду з двох причин:

- в циліндричних роликів підшипниках використовуються як латунні, так і поліамідні сепаратори;
- пошкодження сепараторів практично не впливають на довговічність від утоми самих підшипників.

Найбільш частою причиною несправності підшипників є корозія – 84,2% (рис. 2).

Отримані дані дають можливість оцінити фактичну довговічність підшипників.

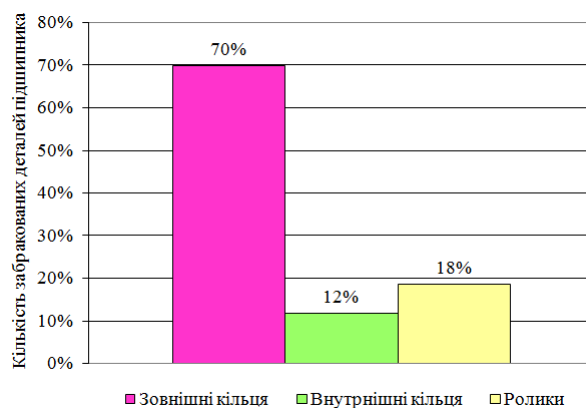
Завдання ускладнюється тим, що експериментальні дані про відмови або їх відсутності достовірно відомі лише за деякі період часу, що безпосередньо передусе обстеженню. Нам невідома передісторія експлуатації підшипників. Такі дані представляють собою специфічний випадок усікання вибірки зліва.

Цей тип експериментальних даних характерний саме для роликів буксових

підшипників, оскільки технологія ремонту циліндричних роликів підшипників у колісно-роликів цехах вагоноремонтних підприємств передбачає демонтаж, обмивання та дефектоскопіювання окремо кільця та роликів. При наступному складанні кільця та роликів підбираються згідно з вимогами [7] випадковим чином. Тобто нам невідомі дані про попередні відмови підшипників.

Рис. 2. Співвідношення між причинами пошкодження деталей підшипників

Для вирішення даного завдання використовувалася методика, викладена в роботі [9], яка одержала свій подальший розвиток стосовно залізничних буксових підшипників у дослідженні [10]. Згідно з даною методикою в процесі розв'язання відбувається відновлення даних шляхом розрахунку імовірності відмов підшипників у періоди, коли спостереження за



ними не проводилося.

Припустимо, що ми маємо  $n$  однакових підшипників. Об'єкти достатньо високонадійні, тому імовірністю двох і більш відмов у період  $\theta$  між проведенням контролю технічного стану можна нехтувати. Вважаємо, що огляд і можлива заміна підшипників здійснюється не частіше одного разу на рік.

Позначимо імовірність відмови підшипника за перший період роботи  $(0,1)$  через  $p_1$ , за другу  $(1,2)$  -  $p_2$  і т. д. (рис. 3).

Тоді для інтервалу  $(m-1, m)$  імовірність відмови підшипника буде  $p_m$ . Кількість оглянутих за відповідний період підшипників позначимо як  $v_i$ , а підшипників, що відмовили -  $m_i$ . За один (перший) період з імовірністю  $p_1$  виникне відмова, а з імовірністю  $1 - p_1$  - безвідмовне напрацювання.

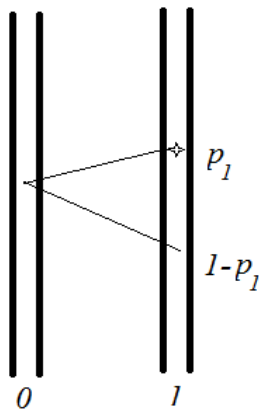


Рис. 3. Граф можливих станів буксового підшипника після першого інтервалу роботи

Відповідно до вихідних даних одержуємо

$$p_1 = \frac{m_1}{v_1}, \quad (1)$$

З  $m_2$  підшипників, що відмовили через два роки,  $p_1 \cdot m_2$  відмовляли рік тому. Тому імовірність відмови підшипників у другий рік експлуатації можна визначити за такою формулою

$$p_2 = \frac{m_2 - p_1 \cdot m_2}{v_2} = \frac{m_2}{v_2} \cdot (1 - p_1), \quad (2)$$

Аналогічно для третього року експлуатації

$$p_3 = \frac{m_3 - p_1 \cdot m_3 - p_2 \cdot m_3}{v_3} = \frac{m_3}{v_3} \cdot (1 - p_1 - p_2), \quad (3)$$

Тоді у загальному випадку отримуємо:

$$p_i = \frac{m_i}{v_i} \cdot \sum_{k=1}^{i-1} p_k, \quad (4)$$

Значення емпіричної функції розподілення розраховуються таким чином:

$$F(0) = 0, \quad (5)$$

$$F(1) = p_1, \quad (6)$$

$$F(2) = p_1 + p_2, \quad (7)$$

$$F(i) = \sum_{k=1}^{i-1} p_k, \quad (8)$$

При проведенні розрахунків використовувались наступні припущення:

- буксові підшипники є високонадійними виробами та імовірністю виникнення двох або

більше відмов у період між плановими повними ревізіями букс можна знехтувати;

- всі буксові підшипники мають різне напрацювання, яке встановлюється згідно з маркуванням на зовнішньому кільці підшипника;

- при проведенні розрахунків враховуються лише дані щодо відмов зовнішніх кілець, оскільки ролики взагалі не маркуються; кількість відмов внутрішніх кілець незначна і їй можна знехтувати.

Отримані результати представлені на рис. 4. За їх допомогою була визначена довговічність буксових підшипників. Відомо, що довговічність визначається як напрацювання, протягом якої не менше 90% підшипників повинні відпрацювати без появи ознак втомного викришування. У термінах теорії надійності це означає 90%  $\gamma$ -ресурс. В роботі [1] вказується, що для вантажних вагонів вона повинна складати не менше 1,5 млн. км (приблизно 15 років експлуатації). Однак ця умова не виконувалася і раніше (у вісімдесяті роки довговічність підшипників становила приблизно 9 років експлуатації). В дослідженнях проф. І. Е. Мартинова було встановлено, що у 2000 році цей показник складав приблизно 4,5 роки експлуатації. Згідно проведеним розрахункам 90%  $\gamma$ -ресурс циліндричних буксових підшипників, що експлуатуються в критих вантажних вагонах, становить шість років (рис. 4).

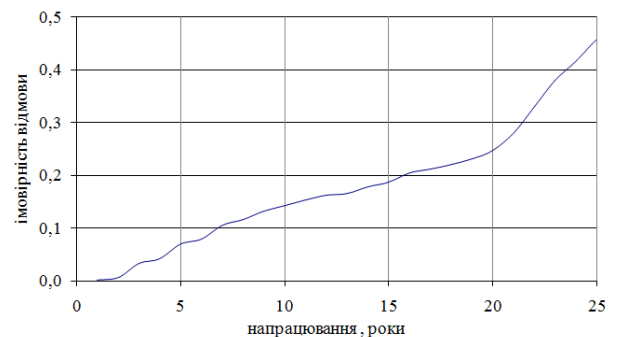


Рис. 4. Емпірична функція розподілення напрацювання до відмови буксових підшипників

Використовуючи отримані значення емпіричної функції, можна встановити закономірність напрацювання підшипників до відмови.

В ряді досліджень доведено, що для опису напрацювання буксових підшипників до відмови можливо використання закону розподілення Вейбулла-Гнеденко у наступному вигляді:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right), \quad (9)$$

де  $a$  – параметр масштабу;

$b$  – параметр форми.

Оцінка параметрів розподілення виконувалась методом максимальної правдоподібності. В результаті отримані наступні значення

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{1387}\right)^{50.67}\right),$$

**Висновки.** 1. За результатами проведеного обстеження технічного стану циліндричних роликів підшипників букс критих вантажних вагонів. Встановлено, що 85% оглянутих підшипників мають пошкодження різного ступеня тяжкості, з яких 2% оглянутих підшипників не підлягають відновленню. Виходять з ладу в першу чергу зовнішні кільця підшипників.

2. Виконана оцінка довговічності буксових циліндричних підшипників. Особливістю обробки є те, експериментальні дані про відмови або їх відсутності достовірно відомі лише за деякі період часу, що безпосередньо передусе обстеженню. При цьому використовувалась методика, згідно з якою в процесі розв'язання відбувається відновлення даних шляхом розрахунку імовірності відмов підшипників у періоди, коли спостереження за ними не проводилося.

3. Згідно проведеним розрахункам 90%  $\gamma$ -ресурс циліндричних буксових підшипників, що експлуатуються в критих вантажних вагонах, становить шість років. Для опису напрацювання буксових підшипників до відмови використано закон розподілення Вейбулла-Гнеденко. Визначені параметри цього закону.

#### Література

1. Цюренко В. Н. Надежность роликовых подшипников в буксах вагонов / В. Н. Цюренко, В. А. Петров – М.: Транспорт, 1982. – 96 с.
2. Костеева Т. Н. Работоспособность подшипников в буксах грузовых вагонов с нагрузкой от оси рельсы 250 кН / Т. Н. Костеева / Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. – С. 26-31.
3. Мотовилов К. В. Эксплуатационная надежность буксовых узлов вагонов / К. В. Мотовилов, С. В. Перов, И. Э. Мартынов // Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. сб. науч. тр. – М., 1988. – Вып. 804. – С. 92-99.
4. Покровский Б. Н. К постановке вопроса об оценке надежности подшипников качения букс вагонов / Б. Н. Покровский // Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр. - М., 1978. – Вып. 97. – С. 41-49.

5. Мартынов И. Э. Анализ опыта эксплуатации цилиндрических роликоподшипников букс грузовых вагонов / И. Э. Мартынов // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ, 2000. – №5 (27). – С. 157-159.

6. Труфанова А. В. До питання підвищення надійності роботи роликів букс / І. Е. Мартинов, А. В. Труфанова, М. К. Косован // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 79. – С. 103-108.

7. Інструкція з експлуатації та ремонту вагонних букс з роликівими підшипниками. – ЦВ-ЦЛ-0058. – К.: Укрзалізниця, 2004. – 158 с. – (Відомчий нормативний документ Державної адміністрації залізничного транспорту України).

8. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень підшипників кочення. – К.: Укрзалізниця, 2005. – 69 с. – (Відомчий нормативний документ Державної адміністрації залізничного транспорту України).

9. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин [и др.] Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

10. Мартинов І. Е. Питання розрахунку довговічності буксових роликів підшипників / І. Е. Мартинов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2000. – Вип. 44. – С. 76-79.

#### References

1. Curenko V.N. The reliability roller bearings in axle boxes of cars / V. N. Curenko, V. A. Petrov - M: Transport, 1982. - 96 p.
2. Kosteeva T. N. The performance of the bearings in the assigned a weight of freight cars with axial load rails 250 kN / T. N. Kosteeva / Scientific proceedings of VNIIZhT. - M: Transport, 1982. - Vol. 654. - P. 26-31.
3. Motovilov K. V. Operational reliability axle boxes of wagons / K. V. Motovilov, S. V. Perov, I. E. Martynov // Moscow: MIIT, 1988. - Vol. 804. - P. 92-99.
4. Pokrovsky B. N. To the question about the estimation of the reliability of rolling bearings cars / B. N. Pokrovsky // - Moscow: VZIIT, 1978. - Vol. 97. - P. 41-49.
5. Martynov, I. E. Analysis of operating experience cylinder-рических roller bearings of axle box of freight cars / I. E. Martynov // Bulletin of the East-Ukrainian state University. - Lugansk, 2000. - №5 (27). - P. 157-159.
6. Trufanova A. V. To the question of increase of reliability of work of the roller axle box / I. E. Martynov, A. V. Trufanova, M. K. Kosovan // Interuniversity collection of scientific works. - Kharkov: Укргажт KART, 2006. - Vol. 79. - P. 103-108.
7. Operation and repair of the railway axle box with roller bearings. - CV-CL-0058. - K.: Ukrzaliznytsya, 2004. – P. 158. - (Departmental normative document of the State administration of railway transport of Ukraine)
8. Classification and directory defects and damages of roller bearings. - K.: Ukrzaliznytsya, 2005. – P. 69 -

(Departmental normative document of the State administration of railway transport of Ukraine).

9. Reliability of engineering systems: Handbook / Y. K. Belyaev, V.A. Bogatyrev, V. V. Bolotin [and other]. Edited by I.A. Ushakov. - Moscow: Radio and communication, 1985. - 608 p.

10. Martynov, I. E. The questions of the calculation of durability of axle box bearings / I. E. Martynov // Interuniversity collection of scientific works. – Kharkov: KART, 2000. - Vol. 44. - P. 76-79.

кафедри Вагоны, УкрДАЗТ, м. Харків, Україна, e-mail: osna2030@gmail.com.

Рецензент: Будіков Л.Я., д.т.н., проф.

Стаття подана 19.08.2013

#### **Ильчишин В. М. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ КРЫТЫХ ВАГОНОВ**

*Рассмотрены результаты обследования технического состояния буксовых узлов крытых грузовых вагонов собственности ГП "Укррефтранс". Определены основные повреждения цилиндрических роликовых подшипников. Предложена вероятностная модель надежности цилиндрических роликовых подшипников. Выполнен сравнительный анализ надежности буксовых подшипников, используемых в различных типах грузовых вагонов.*

**Ключевые слова:** *цилиндрический буксовый подшипник, отказ, надежность, средний срок службы, закон распределения наработки.*

#### **Ilichishyn V. THE ANALYSIS OF RELIABILITY OF AXLEBOXES BEARINGS OF COVERED FREIGHT CARS**

*Based on the results of the inspection of the technical state of the cylindrical roller bearings of the axle boxes of covered freight cars. Mouth-set that 85% of those examined bearings have injuries of varying severity, of which 2% examined bearings are not subject to restoration. Fail primarily bearing outer ring.*

*The estimation of durability of axlebox cylindrical bearings. A specific feature is experimental data on failures or lack of know only for some period of time immediately preceding the survey. When this technique was used, according to which in the process of decision occurs restoring data by calculating the probability of bearing failures in the periods when the observation was not conducted.*

*According to the calculations of 90%  $\gamma$ -resource axlebox cylindrical bearings used in covered wagons, is six years. To describe the achievements of axlebox bearings used to failure law of the distribution Weibull-Gnedenko. Settings are defined in this law.*

**Keywords:** *cylindrical roller bearing, failure, reliability, average service life, the law of distribution of an operating time.*

**Ильчишин В. М.** – директор Державного підприємства "Український державний центр залізничних рефрижераторних перевезень", здобувач