УДК 629.4.027 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.174.2017.127572

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Д-р техн. наук І. Е. Мартинов, асп. Н. С. Кладько

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Д-р техн. наук И. Э. Мартынов, асп. Н. С. Кладько

TO THE QUESTION ON IMPROVEMENT IN FREIGHT CAR AXLE-BOX

Doct.of techn. scienes I. E. Martynov, postgraduate N. S. Kladko

У статті виконано порівняння вартості експлуатаційних витрат до моменту проведення ремонту буксового вузла вантажного вагона. Установлено економічний ефект від заміни вітчизняного типового буксового вузла з циліндричними підшипниками на буксовий вузол з конічними підшипниками. Головну увагу приділено методиці визначення витрат під час експлуатації різних типів буксових вузлів. Основною метою проведеного дослідження є прогноз доцільності інноваційного проекту та виділення основоположних показників, які в подальшому забезпечать оперативність у виборі якісного та конкурентоспроможного продукту.

Ключові слова: *підшипник, букса, надійність, довговічність, вартість, витрати, експлуатація, цикл, ревізія.*

В статье выполнено сравнение стоимости эксплуатационных затрат к моменту проведения ремонта буксового узла грузового вагона. Установлено экономический эффект от замены буксового узла с цилиндрическими роликовыми подшипниками на буксовый узел с коническими подшипниками кассетного типа. Основное внимание отведено методике определения затрат во время эксплуатации разных типов буксовых узлов. Основной целью проведенного исследования является прогнозирование целесообразности инновационного проекта и выделение основных показателей, которые в дальнейшем обеспечат оперативность в выборе качественного и конкурентоспособного продукта.

Ключевые слова: *подшипник, букса, надёжность, долговечность, стоимость, затраты, эксплуатация, цикл, ревизия.*

The article contains a comparison of operating costs to the time of repair of the axle unit of the freight car. The economic effect of replacing the domestic standard axle box unit with cylindrical bearings with a pedestal unit with tapered bearings is established. The main attention is given to the methodology of determining of the operating costs for the different types of axle boxes. The main objective of the study is to predict the feasibility of an innovative project and to identify the key indicators that will guarantee the efficiency and competitiveness of a product. The issues of evaluation and analysis of investment efficiency are extremely relevant from the point of view of both theoretical studies and applied aspects of investment policy. These issues are constantly at the center of active research and development. The article analyzes the concept of the life cycle. The possibility of using the concept in terms of calculating costs for the operation of different types of

axle boxes is considered. A comparative analysis of the practical application of the concept of the life cycle of axle boxes with conical and cylindrical bearings is presented.

Keywords: *bearing, axle-box, reliability, durability, price, costs, operation, cycle, revision.*

Вступ. Україна має одну з найбільш розвинених у Європі мережу залізниць, експлуатаційна довжина якої становить понад 22 тис. км. За густиною вона посідає провідне місце серед країн СНД і наближається за цим показником до європейських країн: Франції та Італії.

Найважливішими перевагами залізничного транспорту в сучасних умовах є його економічність, доступність та екологічність. Але останніми роками особливо загострилися проблеми оновлення матеріально-технічної бази залізничного транспорту, насамперед вагонного господарства. Так, парк вантажних вагонів ПАТ "Укрзалізниця" невпинно старіє, строк служби значної частини вагонів неодноразово подовжувався. Нових вагонів, які були нещодавно побудовані, недостатньо і вони почали надходити до експлуатаційного парку лише наприкінці 2016 року. Унаслідок цього середній строк служби універсальних напіввагонів, які використовуються найбільш інтенсивно, становить 24 роки і перевищив нормативний строк служби у 22 роки.

Хронічний брак фінансування галузі не дає змоги повністю відновлювати працездатність рухомого складу. До того ж технічні рішення щодо конструктивних особливостей вантажних вагонів здебільшого були прийняті ще у другій половині XX сторіччя. Такі вагони мають незадовільні техніко-економічні параметри, недостатній рівень надійності та за своїми споживчими якостями не задовольняють зростаючих потреб вантажовласників. Вартість життєвого циклу такого вагона виявляється набагато вищою від вартості наявних зарубіжних аналогів.

Поповнення вагонного парку повинно виконуватися вагонами нового покоління, що насамперед вимагає застосування ходових частин з буксовими вузлами підвищеної надійності. Використання сучасних підшипників касетного типу дасть змогу збільшити міжремонтні пробіги вагонів та виконувати їх без проведення проміжних ревізій. Завдяки цьому зменшуються витрати на утримання вагонів та підвищується швидкість постачання вантажів до місця призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепція життєвого циклу виникла наприкінці XIX сторіччя і спочатку застосовувалася лише у соціальних науках для визначення спадковості й розвитку на рівні індивідуумів та організмів [1].

Одна з перших праць у галузі життєвого циклу продукту належить Т. Левітту [2].

Сьогодні життєвий цикл виробу (Product Life Cyc1e Cost – LCC) є однією з найбільш відомих та досліджених галузей застосування концепції життєвого циклу. Ця тема розглядається вченими та практиками протягом тривалого періоду [3, 4].

У галузі світового залізничного транспорту показник вартості життєвого циклу виробу широко розповсюдився лише на початку 1990-х років [5, 6].

Розрахунок LCC наочно показує співвідношення витрат на придбання виробу й так званих «післяпродажних» витрат. Варто зазначити, що саме на післяпродажні витрати припадає в середньому 60-80 % вартості життєвого циклу виробу [7].

Модель життєвого циклу будь-якого виробу можна розкласти на декілька стадій, а саме: аналіз та розроблення технології, виробниче розроблення, виробництво та розгортання, фінансування та підтримка [8].

На сьогодні показник LCC на залізницях України не набув широкого розповсюдження і використовується як додаткове значення [9-11].

Як головний критерій вибору того чи іншого виробу заведено враховувати лише його вихідну вартість. В умовах сучасних ринкових відносин виробник повинен забезпечувати не лише технологічність, а й економічну доцільність, яка формує адекватну ціну на цей виріб та вимагає найкоротших строків окупності.

Хоча при виконанні розрахунків LCC виникає низка проблем, які пов'язані з браком чітко встановлених стандартів та методики розрахунку життєвого циклу, але LCC залишається найбільш об'єктивним механізмом для визначення строків окупності та формування післяпродажної ціни виробу. Саме сумарні витрати LCC мають вагоме й визначальне значення, оскільки може трапитися, що дешевший на момент купівлі виріб у процесі експлуатації потребуватиме більших витрат.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою цієї роботи є оцінка ефективності удосконалення конструкції буксових вузлів вантажних вагонів з циліндричними підшипниками завдяки використанню підшипників підвищеної надійності.

Для досягнення визначеної мети розв'язувалися такі завдання:

- встановлення особливостей впливу параметрів сучасних підшипникових вузлів вагонів на динамічні властивості та довговічність конструкції;

- обрання моделі розрахунку експлуатаційних витрат, яка дасть змогу найбільш точно відобразити всі витрати на життєвий цикл підшипникового вузла;

- оцінка економічного ефекту від застосування підшипникових вузлів зі зміненою схемою передачі навантажень.

Основна частина дослідження. Буксові вузли є елементом ходових частин вагонів. Вони забезпечують передачу всіх видів навантажень від кузова вагона до шийки осі та одночасно є ємністю для розміщення мастила. Буксові вузли з'єднують колісні пари з рамою візка, оберігають шийку від забруднень та пошкоджень і запобігають зміщенню колісних пар відносно візка.

Буксові вузли з підшипниками кочення поділяються на вузли з циліндричними, сферичними та конічними підшипниками. Перспективними вважаються конструкції із застосуванням конічних підшипників. Їх успішно використовують на залізницях різних країн світу. Головна перевага таких букс полягає у збільшеному міжремонтному пробігу (до 800 тис. км) завдяки підвищеній надійності всіх елементів підшипникового вузла [12].

До того ж перевагами конічних підшипникових вузлів можна вважати зменшення матеріальних витрат та полегшення процесів проведення монтажно-демонтажних робіт і технічного обслуговування [13].

На вітчизняних вагонах касетні буксові вузли встановлюють на візках нового покоління для швидкостей руху до 200 км/год.

Касетний буксовий вузол є готовою до встановлення конструкцією, відрегульованою та заправленою мастилом на заводі-виготовлювачі. Він має менші розміри та масу, ніж типовий вузол, а також потребує удвічі меншої кількості мастила. Буксовий вузол складається з дворядного підшипника, що має два ряди внутрішніх кілець, два комплекти конічних роликів, два сепаратори та єдине зовнішнє кільце, що відіграє роль корпусу букси. Висока технологічність конструкції касетного підшипникового вузла значною мірою впливає на складність у виготовленні та складанні конструкції, отже, і на її собівартість.

Оцінити економічну доцільність упровадження буксового вузла з конічними підшипниками можна використавши формулу для визначення вартості життєвого циклу. До вартості життєвого циклу рухомого складу, а також окремих вузлів та комплектуючих включають усі одноразові (капітальні) та поточні (експлуатаційні) витрати [10].

$$LCC_T = K_t^{придб} + \sum_{t_H}^{t_H+T} (K_t^{об} + И_t \pm Л_t) \cdot a_t, \quad (1)$$

де $K_t^{придб}$ – вартість придбання буксового вузла, грн;

$K_t^{об}$ – капітальні (одноразові) вкладення у році *t* життєвого циклу, грн;

$И_t$ – поточні витрати у році *t* життєвого циклу, грн;

$Л_t$ – залишкова вартість основних фондів, що вибувають у році t життєвого циклу, грн;

Т – тривалість життєвого циклу, р.;

t_H – початковий рік життєвого циклу буксового вузла;

a_t – коефіцієнт дисконтування.

Коефіцієнт дисконтування a_t розраховується за формулою

$$a_t = (1 + E_д)^{t_p - 1}, \quad (2)$$

де $E_д$ – норма дисконту;

t_p – розрахунковий рік життєвого циклу;

t – рік життєвого циклу, витрати якого приводяться до розрахункового року.

Довговічність типового буксового вузла з циліндричними підшипниками в середньому становить приблизно 4,5 років [14]. Фактично ж уже після проведення повної ревізії ми маємо буксові вузли з повністю інакшими, ніж у початкових, показниками надійності. Протягом припрацювання таких буксових вузлів з'являється вірогідність нагрівання та виходу з ладу підшипників [15]. Цей факт варто враховувати при розрахунках показника LCC.

Можливим варіантом визначення вартості LCC для буксових вузлів з циліндричними підшипниками є розрахунок витрат за період до виконання ремонту, тобто до проведення повної ревізії буксових вузлів.

На основі методики розрахунку показника LCC [10] до складу одноразових витрат входять капітальні вкладення, які необхідно виконати при упровадженні буксових вузлів в експлуатацію.

При розрахунку капітальних вкладень ураховувалися всі витрати, що стосуються вартості складання буксових вузлів, а саме:

- вартість монтажу підшипників;
- вартість комплектуючих для складання буксового вузла, без урахування самого підшипника (корпус, оглядова кришка, кріпильна кришка, стопорна планка, мастило, адаптер та ін.);
- підшипники.

Наступною складовою життєвого циклу є експлуатаційні витрати. Експлуатаційними витратами слід вважати витрати на проведення повних та проміжних ревізій. Тут варто звернути увагу на той факт, що для типових буксових вузлів з циліндричними підшипниками раз на рік виконується проміжна ревізія і кожні два роки повна. Для буксових вузлів з конічними підшипниками характерний брак проміжних ревізій, а також збільшений період для проведення повної ревізії.

Головною метою проведення розрахунку є встановлення доцільності упровадження конічних підшипникових вузлів на вітчизняних вантажних вагонах. При цьому бажаний економічний ефект має з'явитися завдяки зниженню витрат на проведення ревізій підшипникових вузлів; зменшення кількості колісних пар, що потребують заміни за весь строк служби вагона; зниження кількості відчеплень вагонів при виникненні надмірного нагріву підшипникового вузла.

Протягом розрахунку вартості ревізій циліндричних підшипникових вузлів були враховані витрати на заміну запасних частин при проведенні ремонту, відрахування на соціальні заходи та витрати на зарплату робітникам. Основні статті витрат на комплектуючі для різних типів підшипникових вузлів, а також на виконання монтажно-демонтажних робіт наведено в таблиці.

Таблиця

Розрахунок вартості формування підшипникових вузлів

Стаття витрат	Вартість підшипника, тис. грн	
	конічного	циліндричного
Монтаж підшипників	3,81	1,81
Комплектуючі для формування буксового вузла (без підшипника)	6,44	2,36
Корпус букси з лабіринтом	-	1,75
Кришка оглядова	-	0,05
Кріпильна кришка	0,51	0,51
Ущільнювальне кільце кріпильної кришки	-	0,01
Прокладка оглядової кришки	-	0,004
Планка стопорна	-	0,035
Мастило для лабіринту	0,001	0,001
Адаптер	1,08	-
Корпус букси	-	1,08
Підшипник	6,15	1,5
Повна вартість нового буксового вузла з урахуванням монтажу	18,0	6,75

Розрахунками було встановлено, що економія коштів при заміні циліндричних буксових вузлів на касетні з установленням їх у адаптер зі змінним навантаженням, на 100 тис. км пробігу на один буксовий вузол становитиме 1,5 тис. грн.

У розрахунках не враховується зниження трудомісткості при виконанні монтажних робіт при складанні буксових вузлів (використана вартість монтажу звичайних циліндричних підшипників). У разі розрахунку за умови зниження вартості монтажу буксових вузлів з конічними підшипниками ефект від застосування буде вищим. Для конічних касетних підшипників не враховано витрати на переобладнання депо.

Виконаний розрахунок – спрощений і отриману оцінку не варто сприймати як реальний вартісний орієнтир. А втім наведений розрахунок указує на можливість значної економії коштів при застосуванні конічних підшипникових вузлів та доводить ефективність від удосконалення типових буксових вузлів.

Висновки. Застосування нового буксового вузла дасть змогу здійснювати його заміну не раніше ніж через 10 років. Очевидно, що заміна типових буксових вузлів вузлами, оснащеними адаптерами, має значно знизити експлуатаційні витрати завдяки подовженню строку міжремонтних циклів буксових вузлів.

Список використаних джерел

1. Широкова, Г. В. Концепция жизненного цикла в современных организационных и управленческих исследованиях [Текст] / Г. В. Широкова, Т. Н. Клемина, Т. П. Козырева // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007. – Вып. 2. – С. 3–31.

2. Levitt, T. Exploit the Product Life Cycle [Text] / T. Levitt // Harvard Business Review. 1965. – Vol. 43. – November-December № 6. – P. 81–94.

3. Mason, R. S. Product Maturity and Marketing Strategy [Text] / R. S. Mason // European Journal of Marketing. – 2001. – Vol. 10, №1. – P. 36–47.

4. Selecting Test and Maintenance Strategies to achieve Availability Target with lowest Life-Cycle Cost, P. Dersin, A. Peronne, C. Arroum (ALSTOM transport), RAMS 2008, Las Vegas, NE, USA.

5. Тиматков, В. В. Особенности расчёта стоимости жизненного цикла железнодорожной техники при рассмотрении её отдельных узлов [Текст] / В. В. Тиматков // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 2(27). – С. 54–55.

6. Понтиселли, К. Стоимость жизненного цикла железнодорожного подвижного состава: от теории к практике [Текст] / К. Понтиселли // Техника железных дорог. – М., 2009. – № 4(8). – С. 19–24.

7. Павлов, Л. Н. Использование и оптимизация показателя стоимости жизненного цикла изделия [Текст] / Л. Н. Павлов // Железнодорожный транспорт. – М., 2007. – № 7. – С.74–77.

8. Kossiakoff A., Sweet W. N., Seymour S. J., Biemer S. M. Systems Engineering Principles and Practice [Text]. – 2-е изд. – Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, 2011. – 599 с.

9. Иванова, Н. Г. Оценка затрат жизненного цикла при оценке эффективности новых локомотивов [Текст] / Н. Г. Иванова // Бюллетень транспортной информации: информ.-практ. журнал. – М., 2007. – № 1. – С. 21–25.

10. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава ажелезных дорог [Текст] : научн. издание / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. – Л.: Ноулидж, 2011. – 173 с.

11. Павлов, Л. Н. Оценка стоимости жизненного цикла железнодорожной техники [Текст] / Л. Н. Павлов, Ю. И. Соколов, Н. Е. Вавилов // Экономика железных дорог. – 2006. – № 11. – С. 15–19.

12. Труфанова, А. В. Аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів вагонів / А. В. Труфанова, В. О. Шовкун, С. О. Мироненко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 147. – С. 50–53.

13. К вопросу внедрения вагонних букс с коническими роликоподшипниками [Текст] / А. Д. Лашко, В. В. Мархай, И. Э. Мартынов [та ін.] // Залізничний транспорт України. – 2006. – №2. – С. 17-19.

14. Мартинов, І. Е. Розвиток методів розрахунку та випробувань буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів з урахуванням особливостей їх експлуатації [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Мартинов Ігор Ернстович. – Харків, 2009. – 431 с.

15. Ковалёв, Е. А. Эксплуатационная долговечность подшипников букс вагонов и локомотивов [Текст] / Е. А. Ковалёв, В. И. Квасов // Труды Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1982. – Вып. 167. – С. 8–13.

Мартинов Ігор Ернстович, д-р техн. наук, професор кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-35. E-mail:martinov.hiit@gmail.com.
Кладько Надія Сергіївна, аспірант Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail:kladkonadiia@gmail.com.

Martinov Igor E. d-r science, professor of vagons of the Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: martinov.hiit@gmail.com.
Kladko Nadiia S. postgraduate student of the Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail:kladkonadiia@gmail.com.

Стаття прийнята 04.12.2017 р.