

Ю. Є. Калабухін, І. Е. Мартинов, А. В. Труфанова, О. М. Литовченко

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У статті викладено розрахункові результати економічного обґрунтування доцільності модернізації вантажних вагонів буксовими вузлами удосконаленої конструкції.

Проаналізовано чинники, що впливають на величину додаткових капітальних витрат на здійснення модернізації вагонів удосконаленими буксовими вузлами. Розрахунок річних експлуатаційних витрат на роботу вагону адаптовано до умов конкретного маршруту Харків-Київ.

Ключові слова: вантажний вагон, буксовий вузол, модернізація, ремонт, обслуговування, ефективність, експлуатаційні витрати.

Постановка проблеми та її актуальність

Залізничний транспорт є важливою складовою частиною транспортної системи України. Залізниці України вже на протязі багатьох років забезпечують вантажні перевезення. Особливо їх роль підвищилась під час воєнних дій, бо саме вантажні вагони транспортують військову техніку.

Вагони складаються з великої кількості вузлів, але одним з найбільш важливих їх елементів є буксові вузли. Саме вони передають навантаження від візка на шийки осей, а також для обмежують подовжні та поперечні переміщення колісної пари при русі вагону. Їх рівень надійності безпосередньо впливає на рівень безпеки руху.

В буксах вантажних вагонів використовуються циліндричні роликові підшипники з короткими роликами (габаритні розміри 130×250 мм). Але багаторічний досвід експлуатації свідчить, що ця конструкція вже не відповідає сучасним вимогам.

Вихідний варіант конструкції такого буксового вузла неодноразово змінювався та удосконалювався. Зусилля вчених і конструкторів спрямовані на оптимізацію параметрів існуючих конструкцій буксових вузлів, а також пошук нових конструктивних і технологічних рішень. За кордоном питанням підвищення надійності буксових вузлів присвячені роботи провідних фірм, що займаються виробництвом підшипників: "SKF" (Швеція), "Timken" (США), "FAG" (Німеччина), "Brenco" (США) та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У XIX сторіччі на залізничному рухомому складі перших залізниць використовувались підшипники ковзання. Експлуатація буксових вузлів,

які були обладнані підшипниками кочення, у вагонах розпочалося на початку XX сторіччя [1].

Початок використання циліндричних роликових підшипників у вантажних вагонах вітчизняних залізниць датується 60-ми роками минулого століття [2]. Техніко-економічне обґрунтування впровадження таких підшипників наведено у статті [3]. Основні результати експлуатації перших років викладені у [4]. Автори приходять до висновку, що впровадження підшипників кочення приносить суттєву економію виробничих витрат залізничного транспорту.

Загальна методика дослідження ефективності експлуатації вузлів рухомого складу, розроблена фахівцями УкрДУЗТ, викладена у роботах [5, 6, 7, 8, 9]. Стосовно буксових вузлів вона успішно застосовувалась при обґрунтуванні використання дворядних конічних підшипників в буксах вагонів [10, 11]. Автори розглядали можливий економічний ефект від потенційного підвищення надійності роликових букс та удосконалення системи їх технічного обслуговування та ремонту.

Розглядаючи економічні аспекти обґрунтування напрямків удосконалення залізничної техніки, необхідно використовувати сучасні досягнення теорії інноваційного менеджменту. Так, в роботі [12] надано класичний розгляд інновації як інтегрований процес, включаючи фінансові та інвестиційні аспекти їх оцінки. В статті [13] пояснюється сучасний підхід до оцінки інвестицій в інновації, а саме пропонується теорія реальних опціонів, яка є ключовою для оцінки ризикованих інноваційних проектів.

В роботі [14] розглядаються інновації з макрота мікроекономічної перспективи, аналізується їх вплив на економічне зростання та методи оцінки

ефективності. В дослідженні [15] детально викладені механізми фінансування інновацій та конкретні інструменти, які використовують венчурні інвестори для їх економічної оцінки (наприклад, DCF-моделі високого рівня з поправкою на ризик).

В роботі [16] підсумовуються наукові докази щодо ефективності різних джерел фінансування НДДКР, що є центральним елементом інноваційно-інвестиційних заходів. В статті [17] викладені фундаментальні методи оцінки інвестицій (NPV, IRR, PI), які є основою для будь-якої економічної оцінки інвестиційних заходів, включаючи інноваційні. Дослідження [18] є класикою в емпіричному аналізі зв'язку між інноваціями (вимірними через витрати на НДДКР) та економічною продуктивністю. Вона заклала основи для кількісної оцінки віддачі від інноваційних інвестицій.

Очевидно, що, незважаючи на значну кількість теоретичних досліджень в галузі економічної теорії, вкрай мало досліджень, присвячених реалізації теоретичних положень в сфері вітчизняного залізничного транспорту.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є розробка методологічного підходу до визначення ефективності використання буксових вузлів вантажних вагонів удосконаленої конструкції. Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

- визначити програму модернізації рухомого складу;
- встановити обсяг додаткових капітальних вкладень на модернізацію парку напіввагонів;
- визначити величину скорочення експлуатаційних витрат АТ "Укрзалізниця".

Виклад основного матеріалу

Згідно [1÷5] економічний ефект заходу науково-технічного прогресу за розрахунковий період визначається за наступною формулою

$$E_T = P_T - Z_T, \quad (1)$$

де P_T – вартісна оцінка результатів використання заходу науково-технічного прогресу (НТП) за розрахунковий період, грн.;

Z_T – вартісна оцінка витрат на здійснення заходу НТП за розрахунковий період, грн.

Для базового варіанту напіввагона маємо:

$$E_T^b = P_T^b - Z_T^b, \quad (2)$$

$$E_T^n = P_T^n - Z_T^n, \quad (2)$$

де P_T^b і P_T^n – вартісна оцінка результатів використання відповідно базового і нового варіанту піввагона за розрахунковий період, грн;

Z_T^b і Z_T^n – вартісна оцінка витрат при використанні відповідно базового і нового варіанту напіввагона за розрахунковий період, грн.

У випадку, який розглядається, вартісною оцінкою результатів є дохід, що буде отриманий АТ «Укрзалізниця» від експлуатації базового і нового варіанту напіввагонів за розрахунковий період.

Тоді економічний ефект визначається зменшенням експлуатаційних витрат залізничного транспорту за період роботи напіввагона до його виключення із робочого парку у відповідності з встановленими нормативами і розраховується за формулою

$$\Delta E_T = E_T^n - E_T^b = Z_T^b - Z_T^n, \quad (4)$$

У подальших розрахунках приймаємо, що обладнання напіввагона удосконаленням буксовим вузлом суттєво не вплине на доходи залізниць і не відобразиться на дохідній частині економічного ефекту в порівнянні з варіантом використання базового варіанту.

Програмою модернізації парку напіввагонів передбачається, що удосконаленням буксовим вузлом будуть обладнані напіввагони, що будуються. Передбачена також часткова модернізація напіввагонів, що вже експлуатуються під час проведення їх капітального ремонту.

Додаткові капітальні вкладення на модернізацію парку напіввагонів визначається сумою витрат на проведення наукових досліджень та конструкторських розробок, а також витратами на переобладнання вагонів, що знаходяться в експлуатації. Для вагонів, що знову будуються, обладнання вдосконаленням буксовим вузлом враховано в покупній ціні вагона.

Скорочення експлуатаційних витрат АТ «Укрзалізниця» обумовлено наступними факторами. По-перше, збільшення надійності букс дозволяє принципово змінити систему ремонту останніх, а саме виключити з технологічного циклу проміжні ревізії. Крім того, з'явиться можливість збільшити час між проведенням повних ревізій (ремонтів) буксових вузлів приблизно в 5 разів, що дозволить економити матеріальні та трудові ресурси.

По-друге, застосування нового варіанта буксового вузла дозволяє знизити вагу тари напіввагонів, що обумовлює скорочення собівартості вантажних перевезень.

Ліквідаційна вартість в розрахунках, зазвичай, приймається рівній 10% від первинної ціни і враховується тільки при списанні основних засобів, тобто на останньому році розрахункового періоду, а

з урахуванням дисконтування складатиме менше 1% вартості витрат на модернізацію рухомого складу. Тому при розрахунку економічного ефекту цим доданком можна нехтувати.

Таким чином, вирішення поставленого завдання зводиться до визначення:

- додаткових капітальних вкладень на науково-дослідницькі й дослідно-конструкторські роботи, що пов'язані з науковою, технічною і технологічною розробкою щодо модернізації парку напіввагонів;

- додаткових капітальних вкладень на оснащення напіввагонів, які будуються та для здійснення модернізації робочого парку напіввагонів, які вже знаходяться в експлуатації;

- економії експлуатаційних витрат, які обумовлені використанням робочого парку напіввагонів, які оснащені буксовим вузлом удосконаленої конструкції у порівнянні з базовим варіантом буксового вузла за рахунок зменшення собівартості вантажних перевезень та за рахунок підвищення надійності вузла.

За розрахунковий період приймаємо термін від моменту початку фінансування робіт з обладнання напіввагонів удосконалим буксовим вузлом до моменту їх повного виключення із експлуатації, який складає 22 роки.

Передбачається, що протягом 5 років планується модернізувати напіввагони у кількості:

що знов будуються та обладнуються буксовими вузлами удосконаленої конструкції $n_{\text{зн.б.}}^{2735}$ вагонів;

що знаходяться в експлуатації та підлягають модернізації після проведення повної ревізії буксового вузла $n_{\text{еспл}}^{2400}$ вагонів

Додаткові капітальні вкладення на НДДКР ($\Delta K_t^{\text{НДДКР}}$), що пов'язані з науковою, технічною і технологічною розробкою щодо модернізації парку піввагонів за роками t розрахункового періоду. За два роки вони складають 1 млн грн.

Додаткові капітальні вкладення для здійснення модернізації парку піввагонів обумовлюються програмою модернізації в рік t розрахункового періоду та витратами на модернізацію одного вагона і визначаються за формулами:

- для вагонів, що знов будуються та обладнуються буксовими вузлами удосконаленої конструкції

$$K_t^{\text{зн.б.}} = n_t^{\text{зн.б.}} \times (\Pi_t^{\text{б.}} + (\Pi_t^{\text{н.б.в.}} - L_t^{\text{б.б.в.}}) \times m_{\text{б.в.}}); \quad (5)$$

для вагонів, що знаходяться в експлуатації та підлягають модернізації після проведення повної ревізії буксового вузла

$$\Delta K_t^{\text{експл}} = n_t^{\text{експл}} \times (B_t^{\text{п.р.}} + (\Pi_t^{\text{н.б.в.}} - L_t^{\text{б.б.в.}}) \times m_{\text{б.в.}}), \quad (6)$$

де $n_t^{\text{зн.б.}}$, $n_t^{\text{експл}}$ – кількість піввагонів відповідно, що знов будуються та ті, що вже знаходяться в експлуатації і підлягають модернізації у відповідності до програми в рік t розрахункового періоду, ваг;

$\Pi_t^{\text{б.}}$ – ціна базового піввагону в рік t розрахункового періоду, грн;

$\Pi_t^{\text{н.б.в.}}$ – ціна нового буксового вузла в рік t розрахункового періоду, грн;

$L_t^{\text{б.б.в.}}$ – ліквідаційна вартість базового буксового вузла в рік t розрахункового періоду, грн;

$B_t^{\text{п.р.}}$ – витрати на проведення повної ревізії базового буксового вузла в рік t розрахункового періоду, грн;

$m_{\text{б.в.}}$ – кількість буксових вузлів на вагон.

Додаткові капітальні вкладення, що припадають на один модернізований напіввагон в рік t розрахункового періоду визначаються за формулою

$$\Delta K_{\text{ваг.т}}^{\text{модерн}} = \frac{\Delta K_t^{\text{зн.б.}}}{n_t^{\text{зн.б.}}} + \frac{\Delta K_t^{\text{експл}}}{n_t^{\text{експл}}}, \quad (7)$$

Ціна на знов будований напіввагон приймається 2,5 млн грн, ціна нового буксового вузла - 42, тис. грн. Додаткові капітальні вкладення на один напіввагон в середньому за п'ять років складатимуть 260 тис. грн.

Впровадження удосконалих буксових вузлів дає можливість зменшити експлуатаційні витрати за рахунок зниження енергоспоживання на переміщення вантажного поїзду. Використовувались основні положення тягових розрахунків за умовами профілю реальної ділянки регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» тепловозною (серії 2ТЕ116) та електровозною (електровоз змінного струму ВЛ80с) тягою.

Вихідними даними для проведення тягових розрахунків є:

- характеристика профілю ділянки, 0/00;
- технічна швидкість, км/год.;
- вага вантажного поїзду, т брутто;
- кількість напіввагонів у складі вантажного поїзду, ваг.

Характеристику профілю ділянки регіональної філії "Південна залізниця" АТ "Укрзалізниця" наведено на рисунках 1 і 2 [8]. У непарному та парному напрямках переважаючим є профіль з ухилом 0...1 0/00. Загальна довжина ділянки обертання вантажного поїзда складає 344,502 км. На ділянці в обох напрямках поїзд має 6 зупиночних пунктів.



Рис. 1 – Гістограма розподілу елементів профілю ділянки за ухилом у непарному напрямку



Рис. 2 – Гістограма розподілу елементів профілю ділянки за ухилом у парному напрямку

Станом на 2024 рік середня технічна швидкість у вантажному русі складає 43,5 км/год.; середня вага вантажного поїзду – 2895 т брутто.

Середня кількість вантажних вагонів у складі поїзду визначається за формулою

$$n = \frac{\sum nS_{\text{заг}}}{\sum NS}, \quad (8)$$

де $\sum nS_{\text{заг}}$ – загальний пробіг вантажних вагонів, ваг-км.;

$\sum NS$ – пробіг вантажних поїздів, поїздо-км.

Пробіг вантажних поїздів визначається за формулою

$$\sum NS = \frac{\sum Pl_{\text{бр}}}{Q_{\text{бр}}}, \quad (9)$$

де $\sum Pl_{\text{бр}}$ – експлуатаційний вантажообіг, ткм брутто;

$Q_{\text{бр}}$ – середня вага вантажного поїзду брутто, т брутто.

Таким чином, середня кількість вантажних вагонів у складі поїзду визначається за формулою

$$n = \frac{Q_{\text{бр}} \times \sum nS_{\text{заг}}}{\sum Pl_{\text{бр}}} \quad (10)$$

Станом на 2024 рік загальний пробіг вантажних вагонів складає 3411130 тис. ваг-км, експлуатаційний вантажообіг у вантажному русі – 173370 млн. ткм брутто.

Середня кількість вантажних вагонів у складі поїзду складає

$$n = \frac{2895 \times 3411130}{173370 \times 1000} = 56,96 \text{ вагонів.}$$

Приймаємо середню кількість вантажних вагонів у складі поїзду 57 піввагонів.

Вантажообіг, який виконано на окремій ділянці, визначається за формулою

$$\sum Pl_{\text{бр}} = 2 \times Q_{\text{бр}} \times L, \quad (11)$$

де L – довжина ділянки, км.

Для ділянки, що розглядається, вантажообіг складає

$$\sum Pl_{\text{бр}} = 2 \times 2895 \times 344,502 = 1994666,58 \text{ ткм брутто,}$$

Питома витрата енергоресурсу на 10000 ткм брутто, яка витрачається на тягу вантажного поїзду визначається за формулою:

- тепловозна тяга

$$b_{\text{п}} = 10000 \times \frac{G_{\text{п}}^{\text{п.н}} + G_{\text{п}}^{\text{нп.н}}}{\sum Pl_{\text{бр}}}, \quad (12)$$

- електровозна тяга

$$a_{\text{ел}} = 10000 \times \frac{A_{\text{п}}^{\text{п.н}} + A_{\text{п}}^{\text{нп.н}}}{\sum Pl_{\text{бр}}}, \quad (13)$$

де $G_{\text{п}}^{\text{п.н}}$, $G_{\text{п}}^{\text{нп.н}}$ – витрата палива на переміщення тепловозом вантажного поїзда відповідно, у парному та непарному напрямку, кг;

$A_{\text{п}}^{\text{п.н}}$, $A_{\text{п}}^{\text{нп.н}}$ – витрата електроенергії на переміщення електровозом вантажного поїзда відповідно, у парному та непарному напрямку, кВт-год.

Результати тягових розрахунків при переміщенні поїзду, у складі якого знаходяться напіввагони на дослідній ділянці за видами тяги наведено в таблиці 1.

Розрахунки, проведені за формулами (11) та (12), дали такі результати. Питома витрата палива на 10000 ткм брутто при переміщенні поїзду з піввагонами складає $25,94/10^4$ кг/ткм брутто. Питома витрата електроенергії на 10000 ткм брутто при переміщенні поїзду з базовим варіантом напіввагонів складає $143,03/10^4$ кВт-год/ткм брутто.

Таблиця 1

Результати тягових розрахунків

Найменування показника	Значення показника	
	Парний напрямок	Непарний напрямок
Довжина ділянки, км	344,502	344,502
Вага поїзду, т брутто	2895	2895
Вантажообіг, ткм брутто	997333,29	997333,29
Кількість вагонів у складі поїзду, ваг.	57	57
Технічна швидкість, км/год.	43,5	43,5
Витрата палива тепловозом 2ТЕ116, кг	2572,95	2602,209
Витрата електроенергії електровозом ВЛ80с, кВт-год	13392,98	15137,172

Вага нового варіанта буксового вузла на 30 кг менше в порівнянні з базовим варіантом, що обумовлює зменшення тари піввагона. Приймаючи вагу тари піввагона з базовим варіантом буксового вузла 22,1 т, отримаємо вагу тари піввагона з новим варіантом буксового вузла 21,86 т. Зменшення тари напіввагона обумовлює зменшення експлуатаційних витрат на вантажні перевезення.

Для розрахунку собівартості 1000 ткм нетто за варіантами напіввагонів застосовано метод одиничних витратних ставок [7]. Результати розрахунку наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку собівартості 1000 ткм нетто

Найменування вимірювача експлуатаційної роботи	Сума витрат за варіантом, грн.	
	базовий	новий
1	2	3
Вагоно-кілометри	36,95	36,95
Вагоно-години	8,81	8,81
Локомотиво-кілометри з урахуванням допоміжного пробігу:		
- тепловозна тяга	1,42	1,41
- електровозна тяга	5,30	5,29
Локомотиво-години, з якими пов'язані витрати на технічне обслуговування та ремонт локомотиворемонтної бази:		
- тепловозна тяга	2,05	2,05
- електровозна тяга	9,70	9,69
Тонно-кілометри брутто:		
- тепловозна тяга	201,09	200,26
- електровозна тяга	156,18	155,56

Продовження таблиці 2

1	2	3
Бригадо-години локомотивних бригад		
- тепловозна тяга	6,63	6,62
- електровозна тяга	42,22	42,14
Кілограми умовного палива на тягу поїздів	17,85	17,78
Кіловат-години електроенергії на тягу поїздів	163,65	162,97
Локомотиво-години маневрових локомотивів	15,53	15,53
Кількість вантажних відправлень	8,65	8,65
Кількість відправлених (завантажених) вагонів	18,34	18,34
Разом залежна частина собівартості 1000 ткм нетто, грн.	694,37	692,04
Разом незалежна частина собівартості 1000 ткм нетто, грн.	373,89	373,89
Всього собівартість 1000 ткм нетто, грн.	1068,26	1065,93

Станом на 2024 рік середньодобова продуктивність вантажного вагона складає 4218 ткм нетто. За таких умов річна економія експлуатаційних витрат за рахунок зменшення ваги тари в розрахунку на один напіввагон складає 3587,19 грн.

Висновки

- сформовано науково-методичну процедуру оцінювання ефективності використання удосконалених буксових вузлів вантажних вагонів. Така процедура створює підґрунтя для підвищення надійності та ефективності використання вантажних вагонів та оптимізації технічних рішень у галузі вагонобудування;

- обґрунтовано необхідний обсяг додаткових капітальних вкладень у виконання науково-дослідницьких і дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на модернізацію парку напіввагонів. Ці інвестиції мають стратегічний характер, адже забезпечують подальший розвиток технічного потенціалу галузі та можливість впровадження більш прогресивних технологій;

- визначено обсяг капіталовкладень, потрібних для оснащення новозбудованих напіввагонів та модернізації існуючого парку, що вже перебуває в експлуатації. Це важливий крок до комплексного оновлення рухомого складу, що дозволить підвищити ефективність перевезень та продовжити строк служби вагонів.

- річна економія експлуатаційних витрат за рахунок зменшення ваги тари в розрахунку на один напіввагон складає 3587,19 грн.

Література

1. Антонюк Т. Історія розвитку вантажного вагонного парку в Україні (1875-1917) / Тетяна Антонюк // Дослідження з історії техніки : збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 18. – С. 4–7. – Бібліогр.: 8 назв.
2. Martynov, I. E. Axlebox roller bearings for railway vehicles: design and calculation: monograph / I. E. Martynov, A. V. Trufanova, O. M. Safronov – Kremenchuk, 2022. – 147 p.
3. Martynov I., Trufanova A., Shovkun V., Lytovchenko O., Dmytrenko M., Balashov O. On the issue of ensuring the operability of freight car axle boxes. *Municipal Economy of Cities. Series: «Economy Science»*, 2024. — P. 185–234.
4. Кашилюк, С. О. Обґрунтування параметрів підшипника буксового вузла вантажного вагону рухомого складу з визначенням показників якості : дис. ... канд. техн. наук. – Дніпро, 2022. – 180 с.
5. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти а транспорті: Навч. посібник / Є.І. Балака, О.І. Зоріна, Н.М. Колеснікова, І.М. Писаревський. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.
6. Жердєв М.Д. Визначення економічного ефекту заходів науково-технічного прогресу на залізничному транспорті: методичні вказівки / М.Д. Жердєв, О. М. Гудков, В.Г. Яковенко, Ю.В. Мирошніченко; Українська держ. акад. залізнич. транспорту. – Х.: УкрДАЗТ, 2011 – 46 с.
7. Калабухін Ю. Є. Визначення економічного ефекту заходів науково-технічного прогресу на залізничному транспорті: методичні вказівки / Ю. Є. Калабухін, О. В. Шраменко; Українська держ. акад. залізнич. транспорту. – Х.: УкрДАЗТ, 2011 – 30 с.
8. Калабухін Ю. Є. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу / Ю.Є. Калабухін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008. – Вип. 24. – С. 221-225.
9. Калабухін Ю. Є. Удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу. Дисертація на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук. Х.: УкрДАЗТ, 2010 – 420 с.
10. Калабухін Ю. Є. До питання оцінки ефективності удосконалювання букс вантажних вагонів / Ю. Є. Калабухін, І. Е. Мартинов // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Серія "Транспортні системи і технології", вип. 1-2. – Київ, КУЕТТ, 2003. – С.54-59
11. Калабухін Ю. Є. Економічна оцінка впливу удосконалення вагонних буксів на безпеку руху поїздів / Ю. Є. Калабухін // Вісник економіки транспорту і промисловості. Збірник науково-практичних статей. – Харків, УкрДАЗТ. – 2002. Вип. 1. - С. 16-19.
12. Tidd, J., & Bessant, J. R. (2020). *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change* (7th ed.). John Wiley & Sons.
13. Trigeorgis, L., & Reuer, J. J. (2017). Real options theory in strategic management. *Strategic Management Journal*, 38(1), 42-63.
14. Freeman, C., & Soete, L. (2023). *The Economics of Industrial Innovation* (4th ed.). Routledge.
15. Metrick, A., & Yasuda, A. (2021). *Venture Capital and the Finance of In-novation* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

16. Hall, B. H., & Lerner, J. (2010). The financing of R&D and innovation. In *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 1, pp. 609-639). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)01014-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)01014-2)
17. Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of Corporate Finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.
18. Griliches, Z. (1998). *R&D and Productivity: The Econometric Evidence*. University of Chicago Press.

References

1. Antoniuk, T. The History of the Development of the Freight Car Fleet in Ukraine (1875–1917) / Tetiana Antoniuk // Research in the History of Technology: Collection of Scientific Papers. – 2013. – Issue 18. – P. 4–7. – Bibliography: 8 titles.
2. Martynov, I. E., Trufanova A. V., Safronov O. M. (2022) Axlebox roller bearings for railway vehicles: design and calculation: monograph. Kremenchuk, 147 p.
3. Martynov I., Trufanova A., Shovkun V., Lytovchenko O., Dmytrenko M., Balashov O. On the issue of ensuring the operability of freight car axle boxes. *Municipal Economy of Cities. Series: «Economy Science»*, 2024. — P. 185–234.
4. Kashliuk, S. O. Justification of the Parameters of the Bearing of the Axle Box Assembly of a Freight Railcar with the Determination of Quality Indicators: Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences. – Dnipro, 2022. – 180 p.
5. Balaka, YE. I., Zorina, O. I., Kolesnikova, N. M., Pysarevs'kyi I. M. (2005) Otsinka ekonomichnoyi dotsil'nosti investytsiy v innovatsiyni proekty a transporti. *Kharkiv: UkrDAZT*. 210 p.
6. Zherdyev, M. D., Hudkov, O. M. Yakovenko V. H., Myroshnychenko YU. V. (2011) Vyznachennya ekonomichnoho efektu zakhodiv naukovo-tekhnichnoho prohresu na zaliznychnomu transporti: metodychni vkazivky. *Ukrayins'ka derzh. akad. zaliznych. transportu. – KH.: UkrDAZT*, 46 p.
7. Kalabukhin YU. YE., Shramenko O. V. (2011) Vyznachennya ekonomichnoho efektu zakhodiv naukovo-tekhnichnoho prohresu na zaliznychnomu transporti: metodychni vkazivky. *Ukrayins'ka derzh. akad. zaliznych. transportu. – KH.: UkrDAZT*, 30 p.
8. Kalabukhin YU. (2008) Teoretychni polozhennya vyznachennya vartosti zhyttyevoho tsykladu tyahovoho rukhomoho skladu. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana. – Dnipropetrovs'k: DNUZT*, – Vyp. 24. 221-225.
9. Kalabukhin YU. (2010) Udoskonalennya metodolohiyi vyznachennya tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv funktsionuvannya tyahovoho rukhomoho skladu z urakhuvannyam zhyttyevoho tsykladu. *Dysertatsiya na zdobuttya naukovooho stupenya dokt. tekhn. nauk*. KH.: UkrDAZT, 420 p.
10. Kalabukhin YU., Martynov I. (2003) Do pytannya otsinky efektyvnosti udoskonalyuvannya buks vantazhnykh vahoniv. *Zbirnyk naukovykh prats' Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohiyi transportu. Seriya "Transportni systemy i tekhnolohiyi"*, vyp. 1-2. – Kyiv, KUETT. 54-59/
11. Kalabukhin YU. YE. (2002) Ekonomichna otsinka vplyvu na udoskonalennya bezpeky vahonnykh buksiv na rukh poyizdiv *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti. Zbirnyk naukovo-praktychnykh statey*. Kharkiv, UkrDAZT. Vyp. 1. 16-19.
12. Tidd, J., & Bessant, J. R. (2020). *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change* (7th ed.). John Wiley & Sons.
13. Trigeorgis, L., & Reuer, J. J. (2017). Real options theory in strategic management. *Strategic Management Journal*, 38(1), 42-63.

14. Freeman, C., & Soete, L. (2023). The Economics of Industrial Innovation (4th ed.). Routledge.
15. Metrick, A., & Yasuda, A. (2021). Venture Capital and the Finance of In-novation (3rd ed.). John Wiley & Sons.
16. Hall, B. H., & Lerner, J. (2010). The financing of R&D and innovation. In *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 1, pp. 609-639). North-Holland.
17. Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). Principles of Corporate Finance (13th ed.). McGraw-Hill Education.
18. Griliches, Z. (1998). R&D and Productivity: The Econometric Evidence. University of Chicago Press.

Рецензент: доктор технічних наук, професор кафедри "Вагони та вагонне господарство" Л. А. Мурадян Українського державного університету науки і технологій

Автор: КАЛАБУХІН Юрій Євгенович,
доктор технічних наук, професор кафедри маркетингу, комерційної діяльності та економічної теорії
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail: kalabuxin-fet@ukr.net
ID ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3693-7607>

Автор: МАРТИНОВ Ігор Ернстович,
доктор технічних наук, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail: martinov.hiit@gmail.com
ID ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

Автор: ТРУФАНОВА Альона Володимирівна,
кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail: alena.hiit.vagons@gmail.com
ID ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

Автор: ЛИТОВЧЕНКО Олександр Миколайович,
аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail: rokada_t@ukr.net
ID ORCID <https://orcid.org/0009-0004-0545-9205>

SUBSTANTIATION OF THE RATIONALE FOR MODERNIZING FREIGHT CAR AXLE BOXES

U. Kalabuxin, I. Martynov, A. Trufanova, O. Lytovchenko

Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

This article presents the results of a study evaluating the effectiveness of modernizing freight cars with improved axleboxes units. The use of this new axlebox design reduces the tare weight of gondola cars, thereby reducing freight transportation costs.

A program for the modernization of the gondola car fleet has been defined. It is envisaged that gondola cars under construction will be equipped with an improved axle box unit. It is also planned to partially modernize gondola cars already in operation during their major overhaul.

Additional capital investment in modernizing the gondola fleet is determined by the combined costs of research and development, as well as the cost of refitting cars in service. For newly built cars, the upgrade to an improved axlebox unit is included in the purchase price of the car.

The factors influencing the amount of additional capital expenditures for the modernization of cars with improved axlebox units are analyzed. The calculation of annual operating costs for the freight car was adapted to the specific conditions of the Kharkiv-Kyiv route. The key principles of traction calculations for the actual section profile of the Southern Railway regional branch of Ukrzaliznytsia, with diesel and electric locomotive traction, were used.

The initial data for the traction calculations include the section profile characteristics (0/00), technical speed (km/h), freight train weight (gross tons), the number of gondola cars in the freight train, and scales.

The specific fuel and electricity consumption per 10,000 tonne-kilometers gross for a train with gondola cars was determined.

The weight of the new version of the axle box unit is less compared to the basic version. This results in a smaller tare weight for the gondola car and lower operating costs for freight transportation.

The unit consumption rate method was used to calculate the net cost of 1,000 tonne-kilometers for the gondola car variants. Annual operating cost savings due to reduced tare weight per gondola car exceed UAH 3,500.

Key words: freight car, axleboxes unit, modernization, repair, maintenance, efficiency, operating costs.