

Юрій Калабухін¹, Ігор Мартинов², Альона Труфанова³, Станіслав Мартинов^{4*}

¹ Професор, Кафедра маркетингу, комерційної діяльності та економічної теорії, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3693-7607>

² Професор, Кафедра інженерії вагонів та якості продукції, завідувач кафедри, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

³ Доцент, Кафедра інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

⁴ Аспірант, Кафедра маркетингу, комерційної діяльності та економічної теорії, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна.

* Автор, відповідальний за листування: st.mrtvn@gmail.com

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

У статті викладено результати розробки методологічного підходу до визначення складових ефективності модернізації моторвагонного рухомого складу на прикладі використання буксових вузлів з підшипниками нового покоління.

Проаналізовано чинники, що впливають на величину додаткових капітальних витрат на здійснення модернізації електропоїздів удосконаленими буксовими вузлами. Показано, що додаткові капітальні вкладення обумовлені витратами на науково-дослідницькі і дослідно-конструкторські роботи, які пов'язані з модернізацією електропоїздів, а також витратами на придбання та обладнання електропоїзда буксовими вузлами нового покоління взамін базових.

Запропоновано розрахунок річних експлуатаційних витрат на роботу електропоїзда адаптувати до умов конкретного маршруту, що ним обслуговується, та до існуючої системи утримання моторвагонного рухомого складу в технічно справному стані. При цьому виконано розрахунок експлуатаційних показників використання електропоїзда на маршруті.

Проаналізовано вплив модернізації електропоїзда на зміну річних експлуатаційних витрат господарства приміських залізничних перевезень. Визначена середньорічна економія експлуатаційних витрат на ремонт та обслуговування буксових вузлів нового покоління в розрахунку на один електропоїзд серії ЕПЛ9т та дисконтований економічний ефект від модернізації за залишковий період експлуатації електропоїзда. Встановлено, що період повернення додаткових капітальних вкладень не перевищує 5,5 років.

Запропонована науково-практична процедура визначення складових ефективності дозволяє науково обґрунтувати доцільність модернізації електропоїздів буксовими вузлами нового покоління з урахуванням залишкового періоду їх експлуатації.

Ключові слова: моторвагонний рухомий склад, електропоїзд, модернізація, ремонт, обслуговування, ефективність, експлуатаційні витрати, залишковий період експлуатації.

Вступ. Залізничний транспорт є важливою складовою частиною транспортної системи України. Саме залізниці виконують значну частину пасажирообігу, що виконується усіма видами соціального транспорту. Особливо це стосується приміських пасажирських перевезень,

де за кількістю пасажирів, що перевозяться однією одиницею рухомого складу за рейс, моторвагонний рухомий склад (МВРС) не має конкурентів»

Але фінансово-економічні проблеми не обминули АТ «Укрзалізниця». Парк МВРС України складається з моделей, які будувалися переважно у 60-80 рр. минулого сторіччя. Так, станом на 2016 рік в межах нормативного терміну служби знаходилися лише 29 % електро- та дизель-поїздів, а у 45 % був подовжений термін служби. У 2021 році виключення з інвентарного парку потребувала переважна більшість МВРС, тобто їх ресурс практично вичерпаний.

В умовах жорсткої конкуренції на ринку транспортних послуг залізницям зараз вже недостатньо мати просто електро- та дизель-поїзди збільшеної місткості. МВРС нового покоління повинні мати не лише підвищену надійність та поліпшені комфортні умови для пасажирів, але й бути максимально ефективними як з точки зору витрачання енергоресурсів, так і з точки зору утримання в технічно справному стані.

Одним з найбільш вразливих елементів конструкції вагонів електропоїздів є буксові вузли. Їх рівень надійності безпосередньо впливає на рівень безпеки руху. Враховуючи високу вартість буксових підшипників, витрати на їх ремонт та технічне обслуговування займають значну частку у вартості життєвого циклу електропоїзда.

У буксах вагонів електропоїздів протягом багатьох років використовуються циліндричні роликові підшипники з короткими роликами. Багаторічний досвід експлуатації свідчить, що ця конструкція вже не відповідає сучасним вимогам до складових частин МВРС.

У нашій країні і за кордоном ведуться дослідження з питань модернізації та підвищення надійності буксових вузлів рухомого складу з підшипниками кочення. 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 постановка проблеми. Питанням забезпечення ефективності використання моторвагонного рухомого складу та підвищення якості приміських пасажирських перевезень на залізницях України присвячена значна кількість досліджень як науковців, так і фахівців залізничного транспорту. Основні напрями забезпечення соціально-економічної ефективності приміських пасажирських перевезень висвітлені у роботі [1].

Автори аналізують чинники, що визначають попит на послуги приміського транспорту, структуру переміщень населення у приміському сполученні і приходять до висновку, що показники ефективності повинні бути орієнтованими на розв'язання широкого кола соціально-економічних задач і формувати узагальнений критерій ефективності.

Автор статті [2] справедливо стверджує, що приміські перевезення залізничним транспортом стикаються з рядом проблем, серед яких планова збитковість та небажання місцевих бюджетів покривати збитки, а також критичний знос основних фондів господарства приміських залізничних перевезень. Нині моторвагонний рухомий склад зношений на 86,7 %, дизель-поїзди – 97,1%.

У дослідженні [3] Ейтутіс Г.Д. зазначає, що традиційне збереження за приміськими залізничними перевезеннями статусу соціально значущих у теперішній суспільно-економічній системі України є малообґрунтованим. Він пропонує використовувати нормативно-правові важелі впливу у вигляді контрактів або угод із місцевими держадміністраціями для поступового відновлення та трансформації стратегічного потенціалу залізничного транспорту без утисків соціально незахищених верств населення та інших пільгових категорій громадян.

У роботі [4] розглянуто проблеми та перспективи фінансування приміських пасажирських перевезень. Визначено основні можливі напрями вирішення цих проблем: формування механізмів ефективної фінансово-господарської діяльності залізничного транспорту, а також взаєморозрахунки по відокремлених бізнес-процесах.

Резерви зниження збитковості перевезень за рахунок впровадження нових форм організації розрахункових взаємовідносин подано в статтях [5, 6]. Серед них можна відзначити модернізацію платформ та інших споруд, введення механізму опосередкованого придбання послуг, впровадження автоматизованої обліково-платіжної системи, удосконалення тарифоутворення та ін.

У роботі [7] надається загальний підхід до оцінки економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті, а в роботі [8] визначається методичний підхід щодо визначення ефективності функціонування окремого приміського пасажирського поїзда.

Ефективність приміських пасажирських перевезень залізничним транспортом залежить від багатьох чинників. Серед них необхідно відзначити як технічний стан моторвагонного рухомого складу (рівень спрацювання несучих елементів, довговічність ходових частин, автогальм тощо, зношеність систем забезпечення комфорту, надійність електричних машин), так і здатність існуючої системи ремонту та технічного обслуговування відновлювати працездатний стан. Але переважна більшість досліджень в цьому напрямку спрямована на саме на підвищення ефективності використання електричних машин [9, 10, 11]. Питання підвищення надійності елементів механічної частини залишилось поза увагою дослідників.

Результати досліджень свідчать, що одним із шляхів підвищення надійності роликів букс є використання здвоєних конічних підшипників касетного типу [12, 13, 14, 15].

Це пояснюється тим, що при наявності з'єднаних за величиною радіальних і осьових навантажень, що характерно для залізничного буксового вузла, конічні підшипники мають найменші сили тертя та рівень нагріву.

На теперішній час у світовій практиці в основу техніко-економічного обґрунтування інвестиційних заходів покладено методологію оцінки життєвого циклу. Враховуючи той факт, що запропонована модернізація розповсюджується на існуючий парк електропоїздів, ефективність даного заходу слід розглядати за залишковий період їх експлуатації. Проведення такої оцінки передбачає досконале вивчення та урахування економіко-технологічних властивостей буксових вузлів нового покоління, їх надійність та ремонтпридатність з урахуванням тривалого періоду експлуатації.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка науково-практичної процедури визначення складових ефективності модернізації електропоїздів буксовими вузлами нового покоління з урахуванням залишкового періоду експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

провести аналіз чинників, що впливають на величину додаткових капітальних витрат при здійсненні модернізації;

адаптувати процедуру визначення економії річних експлуатаційних витрат від модернізації електропоїздів до умов експлуатації та до існуючої системи утримання їх в технічно справному стані;

проаналізувати вплив модернізації електропоїзду на зміну в структурі річних експлуатаційних витрат господарства приміських залізничних перевезень;

розглянути ефективність модернізації за залишковий період експлуатації електропоїзда.

Матеріали та методи дослідження. Ефективність модернізації електропоїздів буксовими вузлами нового покоління взамін базових визначається додатковими капітальними витратами та економією експлуатаційних витрат.

Витрати на обладнання електропоїздів буксовими вузлами нового покоління визначаються:

програмою обладнання за роками розрахункового періоду, N_t ;

вартістю робіт з обладнання одного електропоїзда, K_m , грн.

Економія експлуатаційних витрат обумовлена зменшенням витрат на ремонт та обслуговування буксових вузлів за рахунок підвищення надійності їх роботи та зменшення трудомісткості робіт з утримання їх в технічно справному стані.

В цій статті розглядаються лише питання зменшення витрат на ремонт та обслуговування буксових вузлів електропоїздів.

Додаткові капітальні вкладення $\Delta K_{\text{нддкр}}$, що обумовлені розробкою, виробництвом та втіленням буксових вузлів нового покоління до експлуатації визначаються кошторисом витрат на науково-дослідницькі і дослідно-конструкторські роботи, які пов'язані з модернізацією електропоїздів.

Додаткові капітальні витрати безпосередньо на здійснення модернізації з обладнання вагонів електропоїзда буксовими вузлами нового покоління взамін базових пов'язані з монтажньо-демонтажними роботами і визначаються вартістю робіт з обладнання одного електропоїзда буксовими вузлами. Ці витрати обумовлені, в основному, витратами на матеріали, на заробітну плату, відрахуваннями на соціальні заходи та витратами на придбання буксових вузлів нового покоління. В розрахунку на один електропоїзд ці витрати визначаються за формулою

$$\Delta K_{\text{м}} = \Delta K_{\text{пр.}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}, \quad (1)$$

де $\Delta K_{\text{пр.}}$ – додаткові витрати на придбання буксових вузлів нового покоління взамін базових для оснащення електропоїзда, грн.;

$K_{\text{дем}}$ – витрати на демонтаж базових буксових вузлів електропоїзда, грн.;

$K_{\text{монт}}$ – витрати на монтаж буксових вузлів нового покоління для оснащення електропоїзда, грн.

Додаткові витрати на придбання буксових вузлів нового покоління взамін базових для оснащення електропоїзда визначаються за формулою

$$\Delta K_{\text{пр.}} = 4 \times 2 \times n_{\text{в}} \times (\text{Ц}_{\text{б.в}}^{\text{н}} - \text{Ц}_{\text{б.в}}^{\text{б}}), \quad (2)$$

де 4 – кількість вісей вагона електропоїзда;

2 – кількість буксових вузлів на одну вісь вагона електропоїзда;

$n_{\text{в}}$ – кількість вагонів у складі електропоїзда;

$\text{Ц}_{\text{б.в}}^{\text{н}}$ – ціна придбання буксового вузла нового покоління, грн.;

$\text{Ц}_{\text{б.в}}^{\text{б}}$ – ціна придбання базового буксового вузла, грн.

Витрати на демонтаж базових буксових вузлів електропоїзда визначаються за формулою

$$K_{\text{дем}} = 4 \times 2 \times n_{\text{в}} \times [c_i \times t_{\text{дм}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{дод}}) \times (1 + k_{\text{с.з}}) + V_{\text{дм}}^{\text{м}}], \quad (3)$$

де c_i – годинна тарифна ставка слюсаря i -го розряду при відрядній формі оплати праці, грн.;

$t_{\text{дм}}$ – трудомісткість демонтажу одного базового буксового вузла, чол-год.;

$k_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, який враховує виплату премії;

$k_{\text{дод}}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату;

$k_{\text{с.з}}$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні заходи;

$V_{\text{дм}}^{\text{м}}$ – витрати на матеріали на демонтаж одного базового буксового вузла, грн.

Витрати на монтаж буксових вузлів нового покоління для оснащення електропоїзда визначаються за формулою

$$K_{\text{монт}} = 4 \times 2 \times n_{\text{в}} \times [c_i \times t_{\text{м}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{дод}}) \times (1 + k_{\text{с.з}}) + V_{\text{м}}^{\text{м}}], \quad (4)$$

де $t_{\text{м}}$ – трудомісткість монтажу одного буксового вузла нового покоління, чол-год.;

$V_{\text{м}}^{\text{м}}$ – витрати на матеріали на монтаж одного буксового вузла нового покоління, грн.

Вважаємо, що модернізація електропоїздів за рахунок використання буксових вузлів нового

покоління виконується під час проведення капітального ремонту. Розглядаються тільки електропоїзди змінного струму серії ЕПЛ19Г, як ті, що мають найбільший залишковий період експлуатації.

Використання буксових вузлів нового покоління для електропоїздів дозволить скоротити експлуатаційні витрати господарства приміських залізничних перевезень на ремонт та обслуговування буксових вузлів за рахунок підвищення надійності їх роботи та зменшення трудомісткості робіт з утримання їх в технічно справному стані.

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на роботу електропоїзда слід проводити стосовно типових умов експлуатації або за умовами конкретного маршруту, що ним обслуговується [8]. Цьому передують розрахунок експлуатаційних показників використання електропоїзда на маршруті за парним та непарним напрямком. До них слід віднести пасажирообіг $AL_{обк}$ та вантажообіг $QL_{обк}$ за k -им маршрутом, який обслуговується електропоїздом.

Пасажирообіг за k -м маршрутом визначається за формулою

$$AL_{обк} = \sum_{k=п.н.}^{нп.н} \sum_{i=1}^{i=n} (A_i \cdot l_i), \quad (5)$$

де A_i – кількість пасажирів, що знаходяться в електропоїзді на i -му перегоні маршруту, пас.;

l_i – довжина i -го перегону маршруту, км;

п.н., нп.н. – напрямок руху електропоїзда відповідно, парний та непарний;

n – кількість перегонів на маршруті.

Вантажообіг за k -им маршрутом визначається за формулою

$$QL_{обк} = \frac{m_{пас} \cdot AL_{обк}}{1000} + 2 \times L_k \times (n_{г.} \times m_{т.г.} + n_{п.} \times m_{т.п.} + n_{м.} \times m_{т.м.}), \quad (6)$$

де $m_{пас}$ – середня маса пасажирів з багажем, кг;

($n_{г.}$, $n_{п.}$, $n_{м.}$ – кількість вагонів у складі електропоїзда відповідно, головних, причіпних та моторних;

$m_{т.г.}$, $m_{т.п.}$, $m_{т.м.}$ – маса тари вагонів відповідно, головних, причіпних та моторних, т.;

L_k – довжина k -ого маршруту електропоїзда, км.

Оборот електропоїзда на k -му маршруті визначається за формулою

$$T_{обк} = \tau_{пр.о.д.} + \tau_{пр.об.д.} + \frac{1}{60} \times \left[\sum_{i=1}^{i=n} (t_i^{п.н.} + t_i^{нп.н.}) + \sum_{j=1}^{j=m} (\tau_j^{п.н.} + \tau_j^{нп.н.}) \right], \quad (7)$$

де $\tau_{пр.о.д.}$, $\tau_{пр.об.д.}$ – час простою електропоїзда відповідно, в основному та оборотному депо, год.;

$t_i^{п.н.}$, $t_i^{нп.н.}$ – час руху електропоїзда відповідно, у парному та непарному напрямках на i -му перегоні маршруту без урахування часу простою на зупиночних пунктах, хв.;

$\tau_j^{п.н.}$, $\tau_j^{нп.н.}$ – час простою електропоїзда на j -му зупиночному пункті маршруту відповідно, у парному та непарному напрямках, хв.;

n , m – кількість відповідно, перегонів та зупиночних пунктів на маршруті.

Час руху електропоїзда, час простою на зупиночних пунктах на конкретному маршруті визначається графіком руху приміських поїздів.

Річна кількість днів курсування електропоїзда на k -му маршруті залежно від графіка

курсуювання протягом тижня визначається за формулою:

$$D_{k, \text{рік}_k} = \frac{365 \times D_{k, \text{тжд}_k}}{7}, \quad (8)$$

де $D_{k, \text{тжд}_k}$ – кількість днів курсування електропоїзду на k -му маршруті протягом тижня, днів.

Річний пасажирообіг за маршрутами, які обслуговуються електропоїздом, визначається за формулою

$$AL_{\text{рік}} = \sum_{k=1}^{k=z} (AL_{\text{об}_k} \times D_{k, \text{рік}_k}) = \sum_{k=1}^{k=z} (AL_{\text{об}_k} \times \frac{365 \times D_{k, \text{тжд}_k}}{7}), \quad (9)$$

де z – кількість маршрутів, які обслуговуються електропоїздом.

Річний вантажообіг за маршрутами, які обслуговуються електропоїздом визначається за формулою:

$$QL_{\text{рік}} = \sum_{k=1}^{k=z} (QL_{\text{об}_k} \times D_{k, \text{рік}_k}) = \sum_{k=1}^{k=z} (QL_{\text{об}_k} \times \frac{365 \times D_{k, \text{тжд}_k}}{7}). \quad (10)$$

Річний час роботи електропоїзда на маршрутах визначається за формулою

$$T_{\text{рік}} = \sum_{k=1}^{k=z} (T_{\text{об}_k} \times D_{k, \text{рік}_k}) = \sum_{k=1}^{k=z} (T_{\text{об}_k} \times \frac{365 \times D_{k, \text{тжд}_k}}{7}). \quad (11)$$

Річний пробіг електропоїзда за маршрутами визначається за формулою

$$S_{\text{рік}} = \sum_{k=1}^{k=z} \left(2 \times L_k \times \frac{365 \times D_{k, \text{тжд}_k}}{7} \right). \quad (12)$$

Середньодобовий пробіг електропоїзда визначається за формулою

$$S_{\text{доб}} = \frac{24 \times S_{\text{рік}}}{T_{\text{рік}}}. \quad (13)$$

Враховуючи той факт, що буксовими вузлами нового покоління буде оснащатися існуючий парк електропоїздів, кожен з котрого має залишковий період експлуатації $T_{3, \text{п}}$, кількість повної заміни буксових вузлів нового покоління за цей період визначається за формулою

$$f_{\text{б.в}}^{\text{н}} = \frac{T_{3, \text{п}}}{T_{\text{б.в}}^{\text{н}}} - 1, \quad (14)$$

де $T_{\text{б.в}}^{\text{н}}$ – термін служби буксового вузла нового покоління, роки.

Для базових буксових вузлів кількість повної заміни за залишковий період експлуатації електропоїзда визначається за формулою

$$f_{\text{б.в}}^{\text{б}} = \frac{T_{3, \text{п}}}{T_{\text{б.в}}^{\text{б}}} - 1. \quad (15)$$

де $T_{\text{б.в}}^{\text{б}}$ – термін служби базового буксового вузла, роки.

Витрати на заміну буксових вузлів після завершення їх терміну служби визначаються за формулами:

НОВОГО ПОКОЛІННЯ

$$B_{3.б.в}^H = 4 \times 2 \times n_B \times [\Pi_{б.в}^H + c_i \times (t_M^H + t_{DM}^H) \times (1 + k_{пр} + k_{дод}) \times (1 + k_{с.з}) + B_M^H], \quad (16)$$

БАЗОВИХ

$$B_{3.б.в}^б = 4 \times 2 \times n_B \times [\Pi_{б.в}^б + c_i \times (t_M^б + t_{DM}^б) \times (1 + k_{пр} + k_{дод}) \times (1 + k_{с.з}) + B_M^б], \quad (17)$$

де n_B – кількість вагонів у складі електропоїзда;

$\Pi_{б.в}^H, \Pi_{б.в}^б$ – ціна одного буксового вузла відповідно, нового покоління та базового, грн.;

c_i – годинна тарифна ставка слюсаря i -го розряду при відрядній формі оплати праці, грн.;

t_M^H, t_{DM}^H – трудомісткість монтажу та демонтажу одного буксового вузла нового покоління, чол.-год.;

$t_M^б, t_{DM}^б$ – трудомісткість монтажу та демонтажу одного базового буксового вузла, чол.-год.;

$k_{пр}$ – коефіцієнт, який враховує виплату премії;

$k_{дод}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату;

$k_{с.з}$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні заходи;

$B_M^H, B_M^б$ – витрати на матеріали на монтаж одного буксового вузла відповідно, нового покоління та базового, грн.

Економія експлуатаційних витрат на заміну буксових вузлів після завершення їх терміну служби за весь залишковий період експлуатації електропоїзда визначається за формулою

$$\Delta B_{3.б.в} = f_{б.в}^б \times B_{3.б.в}^б - f_{б.в}^H \times B_{3.б.в}^H. \quad (18)$$

На теперішній час в основу утримання тягового рухомого складу залізниць України в технічно справному стані покладено планово-попереджувальну систему ремонту, яка регламентується відповідним положенням Укрзалізниці з встановленням міжремонтних періодів та міжремонтних пробігів [16]. Для електропоїздів цим документом передбачено для проведення технічного обслуговування ТО-3 та поточного ремонту ПР-1 міжремонтні періоди в добах, для поточних та капітальних ремонтів – міжремонтні пробіги в км.

Виходячи з норм міжремонтних пробігів кількість ремонтів та обслуговувань електропоїзда за залишковий період експлуатації визначається за формулами:

$$N_{КР-2} = \frac{S_{рік} \times T_{з.п}}{L_{КР-2}}, \quad (19)$$

$$N_{КР-1} = \frac{S_{рік} \times T_{з.п}}{L_{КР-1}} - N_{КР-2}, \quad (20)$$

$$N_{ПР-3} = \frac{S_{рік} \times T_{з.п}}{L_{ПР-3}} - N_{КР-2} - N_{КР-1}, \quad (21)$$

$$N_{ПР-2} = \frac{S_{рік} \times T_{з.п}}{L_{ПР-2}} - N_{КР-2} - N_{КР-1} - N_{ПР-3}, \quad (22)$$

де $T_{з.п}$ – залишковий період експлуатації електропоїзда, роки;

$L_{КР-2}, L_{КР-1}, L_{ПР-3}, L_{ПР-2}$ – норми міжремонтних пробігів електропоїзда між ремонтами відповідно, КР-2, КР-1, ПР-3, ПР-2, тис. км.

Виходячи з норм міжремонтних періодів кількість ремонтів ПР-1 та обслуговувань ТО-3 електропоїзда за залишковий період експлуатації визначається за формулами:

$$N_{\text{ПР-1}} = \frac{365 \times T_{3.п}}{t_{\text{ПР-1}}} - N_{\text{КР-2}} - N_{\text{КР-1}} - N_{\text{ПР-3}} - N_{\text{ПР-2}}, \quad (23)$$

$$N_{\text{ТО-3}} = \frac{365 \times T_{3.п}}{t_{\text{ТО-3}}} - N_{\text{КР-2}} - N_{\text{КР-1}} - N_{\text{ПР-3}} - N_{\text{ПР-2}} - N_{\text{ПР-1}}, \quad (24)$$

де $t_{\text{ПР-1}}$ – норма міжремонтного періоду електропоїзда між ремонтами ПР-1, діб.

$t_{\text{ТО-3}}$ – норма міжремонтного періоду електропоїзда для проведення технічного обслуговування ТО-3, діб.

Середня кількість поточних ремонтів, що припадає на один рік залишкового періоду експлуатації електропоїзда визначається за формулами:

$$\bar{n}_{\text{ПР-3}} = \frac{N_{\text{ПР-3}}}{T_{3.п}}. \quad (25)$$

$$\bar{n}_{\text{ПР-2}} = \frac{N_{\text{ПР-2}}}{T_{3.п}}. \quad (26)$$

$$\bar{n}_{\text{ПР-1}} = \frac{N_{\text{ПР-1}}}{T_{3.п}}. \quad (27)$$

Середня кількість технічних обслуговувань ТО-3, що припадає на один рік залишкового періоду експлуатації електропоїзда визначається за формулою

$$\bar{n}_{\text{ТО-3}} = \frac{N_{\text{ТО-3}}}{T_{3.п}}. \quad (28)$$

Середньорічна економія експлуатаційних витрат господарства приміських залізничних перевезень на утримання буксових вузлів в технічно справному стані в розрахунку на один електропоїзд визначається за формулою

$$\Delta V_{\text{у.б.в}} = 4 \times 2 \times n_{\text{в}} \times (\bar{n}_{\text{ПР-3}} \times \Delta V_{\text{ПР-3}} + \bar{n}_{\text{ПР-2}} \times \Delta V_{\text{ПР-2}} + \bar{n}_{\text{ПР-1}} \times \Delta V_{\text{ПР-1}} + \bar{n}_{\text{ТО-3}} \times \Delta V_{\text{ТО-3}}), \quad (29)$$

де 4 – кількість вісей вагона електропоїзда;

2 – кількість буксових вузлів на одну вісь вагона електропоїзда;

$n_{\text{в}}$ – кількість вагонів у складі електропоїзда;

$\Delta V_{\text{ПР-3}}, \Delta V_{\text{ПР-2}}, \Delta V_{\text{ПР-1}}, \Delta V_{\text{ТО-3}}$ – економія поточних витрат на утримання буксового вузла в технічно справному стані в обсязі ремонтних робіт відповідно, ПР-3, ПР-2, ПР-1, ТО-3.

Середньорічна економія експлуатаційних витрат господарства приміських залізничних перевезень на повну заміну та утримання буксових вузлів в технічно справному стані в розрахунку на один електропоїзд визначається за формулою

$$\Delta B_{б.в} = \frac{\Delta B_{з.б.в}}{T_{з.п}} + \Delta B_{у.б.в}. \quad (30)$$

У таблиці 1 наведено результати розрахунку економічного ефекту від модернізації електропоїзда.

Таблиця 1. Результати розрахунку економічного ефекту від модернізації електропоїзда

Найменування показника	Значення показника
Серія електропоїзда	ЕПЛ9Т
Кількість вагонів у складі електропоїзда:	
головних	2
моторних	4
причпних	2
Періодичність курсування, днів за тиждень	7
Середньодобовий пробіг електропоїзда, км	668
Річний пробіг електропоїзда, км	243820
Залишковий період експлуатації електропоїзда, років	16
Пробіг електропоїзда за залишковий період експлуатації, тис. км	3901,12
Періодичність:	
- капітального ремонту КР-2, тис. км	2100
- капітального ремонту КР-1, тис. км	700
- поточного ремонту ПР-3, тис. км	350
- поточного ремонту ПР-2, тис. км	175
- поточного ремонту ПР-1, діб	60
- технічного обслуговування ТО-3, діб	7
Середня кількість поточних ремонтів електропоїзда, що припадає на один рік залишкового періоду:	
- ПР-3	0,313
- ПР-2	0,375
- ПР-1	4,69
Середня кількість технічних обслуговувань ТО-3, що припадає на один рік залишкового періоду експлуатації електропоїзда	46,1
Витрати на НДДКР, тис. грн.	66,0
Додаткові капітальні витрати на модернізацію електропоїзда, тис. грн.	697,8
Середньорічна економія експлуатаційних витрат на ремонт та обслуговування буксових вузлів електропоїзда, тис. грн.	186,4
Дисконтований економічний ефект за залишковий період експлуатації, тис. грн.	694,55
Період повернення додаткових капітальних вкладень, років	5,5

На рис. 1 наведено динаміку зміни дисконтованого економічного ефекту від експлуатації модернізованого електропоїзда за роками залишкового періоду.

Висновки. В роботі запропоновано науково-практичну процедуру визначення складових ефективності модернізації електропоїздів буксовими вузлами нового покоління. Проведено аналіз чинників, що впливають на величину додаткових капітальних витрат на здійснення

модернізації. Розрахунок річних експлуатаційних витрат на роботу електропоїзда адаптовано до умов конкретного маршруту, що ним обслуговується та до існуючої системи утримання моторвагонного рухомого складу в технічно справному стані.

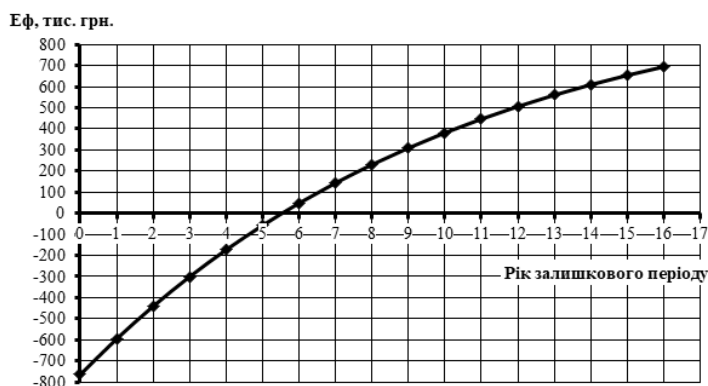


Рис. 1. Динаміка зміни дисконтованого економічного ефекту від експлуатації модернізованого електропоїзда за роками залишкового періоду

Середньорічна економія експлуатаційних витрат на ремонт та обслуговування буксових вузлів нового покоління складає 186,4 тис. грн. в розрахунку на один електропоїзд серії ЕПЛ9т.

Дисконтований економічний ефект від модернізації за залишковий період експлуатації електропоїзда складає 694,55 тис. грн., а період повернення додаткових капітальних вкладень – 5,5 років.

Даний підхід дозволяє науково обґрунтувати доцільність модернізації існуючого парку електропоїздів буксовими вузлами нового покоління з урахуванням залишкового періоду експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. Приміські пасажирські перевезення: навч. посіб. Харків: НТМТ, 2012. 224 с.
2. Дода К. С. Реформа приміських пасажирських залізничних перевезень і розвиток регіонів. Сайт журналу "Центр транспортних стратегій". URL: https://cfts.org.ua/blogs/reforma_primiskikh_pasazhirskikh_zaliznichnikh_perevezen_i_rozvitok_reghoniv_431 (дата звернення: 17.08.2022).
3. Ейтутіс Г. Д. Стратегія реформування залізниць України на основі регіоналізації транспортного обслуговування: дис. ...д-ра економ. наук: 08.00.03 / Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України. Київ, 2010. 452 с.
4. Дикань В. Л., Елагин Ю. В. Перспективи фінансування приміських пасажирських перевезень в умовах акціонування залізничного транспорту. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету, 2016. № 4. С. 46-48.
5. Яновський П. О., Гудкова В. П., Гудков О. М. Транспортне забезпечення населення у приміському сполучення. Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Сер. Економіка і управління. Київ: КУЕТТ, 2005. Вип. 7. С. 105-113.
6. Яновський П. О., Гудкова В. П., Гудков О. М. Фактори розвитку приміських перевезень на залізничному транспорті. Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Сер. Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. Київ: КУЕТТ, 2006. Вип. 12. С. 173-177.
7. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посібник / Є. І. Балака, та ін. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.
8. Бараш Ю.С., Сначов М. П., Матусевич О. О., Кравченко Х. В. Методичний підхід щодо визначення ефективності функціонування окремого приміського пасажирського поїзда. Зб. наук. пр. ДНУЗТ імені В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту», 2014. Вип. 7. С. 88-100.
9. Жемеров Г. Г., Холод О. І. Пути модернізації систем електропостачання метрополитена. Технічна електродинаміка. Темат. вип. "Силовa електроніка та енергоефективність", 2012. Ч. 1. С. 27-35.
10. Гетьман Г. К., Марикуца С. Л. Выбор рациональных параметров номинального режима электропоездов с асинхронным тяговым приводом. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2017, № 3 (69) С. 65-74.

11. Гетьман Г. К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта : монография. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. 444 с.
12. Конструкция осевых подшипников экспериментального высокоскоростного поезда Star-21. Железные дороги мира, 1996. № 7. С.21-24.
13. Ioannides E., Berling G., Gabelli A. The SKF formula for rolling bearing life. Evolution, 2001. №1. P. 25-28.
14. Tarawneh C. M., Sotelo L., Villarreal A. A., de los Santos N., Lechtenberg R. L., Jones, R. Temperature profiles of railroad tapered roller bearings with defective inner and outer rings. ASME/IEEE Joint Rail Conference. 2016, April. American Society of Mechanical Engineers, 2016. Vol. 49675, p. V001T06A018. <https://doi.org/10.1115/JRC2016-5816>.
15. Lima J.D. Residual service life prognostic models for tapered-roller bearings. Master's Thesis, University of Texas Rio Grande Valley, 2020. 62 p.
16. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель- поїздів): затв. Наказом Укрзалізниці 429-Ц/ОД від 15.10.2015 р. – Київ: Укрзалізниця, 2015. 45 с.

] REFERENCES

1. Krystopchuk, M. YE., & Lobashov, O. O. (2012). *Prymis'ki pasazhyrs'ki perevezennya [Suburban passenger transportation]*. Kharkiv: NTMT [in Ukrainian].
2. Doda, K. C. *Reforma prymis'kykh pasazhyrs'kykh zaliznychnykh perevezen' i rozvytok rehioniv [Reform of suburban passenger rail transportation and development of regions]*. (2019). Sayt zhurnalu "Tsentri transportnykh stratehiy" [Site of the magazine "Center of Transport Strategies"]. Retrieved from https://cfts.org.ua/blogs/reforma_primiskikh_pasazhirsikh_zaliznichnikh_perevezen_i_rozvitok_rehioniv_431 [in Ukrainian]
3. Eytutis, H. D. (2010) *Stratehiya reformuvannya zaliznyts' Ukrayiny na osnovi rehionalizatsiyi transportnoho obsluhovuvannya [The strategy of reforming the railways of Ukraine based on the regionalization of transport services]*. Doctor's thesis. / Kyiv: Rada po vyvchennyu produktyvnykh syl Ukrayiny NAN Ukrayiny [in Ukrainian].
4. Dykan', V. L., & Elahyn, Yu. V. (2016). *Perspektyvy finansuvannya prymis'kykh pasazhyrs'kykh perevezen' v umovakh aktsionuvannya zaliznychnoho transportu [Prospects for financing suburban passenger transport in conditions of shareholding of railway transport]*. *Naukovyy visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu – Scientific Bulletin of the International Humanitarian University*, 4, 46-48 [in Ukrainian].
5. Yanovs'kyu, P. O., Hudkova V. P., & Hudkov O. M. (2005). *Transportne zabezpechennya naseleennya u prymis'komu spoluchennya [Transport provision of the population in suburban traffic]*. *Zbirnyk naukovykh prats' Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohiy transportu. Ser. Ekonomika i upravlinnya – Collection of scientific papers of the Kyiv University of Economics and Transport Technologies. Ser. Economics and management*. 7, 105-113 [in Ukrainian].
6. Yanovs'kyu, P. O., Hudkova V. P., & Hudkov O. M. (2006). *Faktory rozvytku prymis'kykh perevezen' na zaliznychnomu transporti [Development factors of suburban transportation by rail transport]* *Zbirnyk naukovykh prats' Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohiy transportu. Ser. Problemy pidvyshchennya efektyvnosti infrastruktury – Collection of scientific papers of the Kyiv University of Economics and Transport Technologies. Ser. Problems of improving infrastructure efficiency*, 12, 173-177 [in Ukrainian].
7. Balaka, Ye. I., Zorina, O. I., Kolesnykova, N. M., & Pysarevs'kyi I. M. (2005). *Otsinka ekonomichnoyi dotsil'nosti investytsiy v innovatsiyini proekty na transporti [Assessment of the economic feasibility of investments in innovative transport projects]*. Kharkiv: UkrDAZT,210 [in Ukrainian].
8. Barash, Yu. S., & Snachov, M. P., & Matushevych, O. O., & Kravchenko KH. V. (2014). *Metodychnyy pidkhid shchodo vyznachennya efektyvnosti funktsionuvannya okremoho prymis'koho pasazhyrs'koho poyizda [A methodical approach to determining the effectiveness of the functioning of a separate suburban passenger train]*. *Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni V. Lazaryana «Problemy ekonomiky transportu» – Collection of scientific works of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan "Problems of transport economy"*, 7, 88-100 [in Ukrainian].
9. Zhemerov H. H., & Kholod O. Y. (2012). *Puty modernyzatsyyi system élektrosnabzhenyya metropolytena [Ways of modernization of metro power supply systems]*. *Tekhnichna elektrodynamika. Temat. vyp. "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist" – Technical electro-dynamics. Subject. issue "Power electronics and energy efficiency"*, 1, 27-35 [in Ukrainian].
10. Het'man, H. K., & Marykutsa S. L. (2017). *Vybor ratsyonal'nykh parametrov nominal'noho rezhyma élektropoezdov s asynkronnym tyahovym pryvodom [Selection of rational parameters of the nominal mode of electric trains with asynchronous traction drive]*. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transport – Science and progress of transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 3 (69). 65-74. [in Ukrainian].
11. Get'man, G. K. (2008). *Nauchnyye osnovy opredeleniya ratsional'nogo moshchnostnogo ryada tyagovykh sredstv zheleznodorozhnogo transporta. [Scientific bases for determining the rational power range of traction means of railway transport]* Dnipropetrovs'k: DNUZT im. akad. V. Lazaryana, 444 [in Ukrainian].

12. Konstruktsiya osevykh podshipnikov eksperimental'nogo vysokoskorostnogo poyezda Star-21 [The design of axial bearings of the experimental high-speed train Star-21] (1996). *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 7, 21-24 [in Russian]
13. Ioannides, E., Bergling, G., & Gabelli, A. (2001). The SKF formula for rolling bearing life. *Evolution*, 1, 25-28.
14. Tarawneh, C. M., Sotelo, L., Villarreal, A. A., de los Santos, N., Lechtenberg, R. L., & Jones, R. (2016, April). Temperature profiles of railroad tapered roller bearings with defective inner and outer rings. In *ASME/IEEE Joint Rail Conference* (Vol. 49675, p. V001T06A018). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/JRC2016-5816>.
15. Lima JD (2020) Residual service life prognostic models for tapered-roller bearings. Master's Thesis, University of Texas Rio Grande Valley, 62/
16. Polozhennya pro planovo-poperedzhuval'nu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannya tyahovoho ta motorvohonoho rukhomoho skladu (elektrovoziv, teplovoziv, elektro- ta dyzel'- poyizdiv). (2015) zatv. Nakazom Ukrzaliznytsi 429-TS/OD vid 15.10.2015 r. – Kyiv, 45.

Yuri Kalabukhin¹, Igor Martynov², Alyona Trufanova³, Stanislav Martynov⁴

¹ Professor, Department Marketing, business activity and economic theory, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach sq., Kharkiv, 61050, Ukraine

² Professor, Department Wagon engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach sq., Kharkiv, 61050, Ukraine

³ Associate Professor, Department Wagon engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach sq., Kharkiv, 61050, Ukraine

⁴ Postgraduate, Department Marketing, business activity and economic theory, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach sq., Kharkiv, 61050, Ukraine

ON THE QUESTION OF DETERMINING THE EFFICIENCY OF THE MODERNIZATION OF ELECTRIC TRAINS

The article presents the results of the development of a methodological approach to determining the components of the efficiency of the modernization of rolling stock using the example of the exploitation of bushing units with new generation bearings.

Factors affecting the amount of additional capital costs for the modernization of electric trains with improved bushing units are analyzed. It is shown that additional capital investments arise due to the costs of research and development works, which are associated with the modernization of electric trains, as well as the costs of purchasing and equipping an electric train with new-generation bushing units instead of basic ones.

It is proposed to adapt the calculation of the annual operating costs for the operation of the electric train to the conditions of the specific route served by it and to the existing system of maintaining the rolling stock in a technically sound condition. At the same time, the calculation of operational indicators of the use of the electric train on the route was performed.

The influence of electric train modernization on the change in the annual operating costs of the suburban rail transport economy is analyzed. The average annual savings in operating costs for the repair and maintenance of the new generation of bogie assemblies per one electric train of the EPL9t series and the discounted economic effect of modernization for the remaining period of operation of the electric train were determined. It was established that the payback period for additional capital investments does not exceed 5.5 years.

The proposed scientific and practical procedure for determining the components of efficiency allows to scientifically justify the feasibility of modernizing electric trains with new-generation bogies, taking into account the remaining period of their operation.

Keywords: rolling stock, electric train, modernization, repair, maintenance, efficiency, operating costs, residual period of operation.