

УДК 629.454.2

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОЦІНКИ РЕМОНТНОЇ СКЛАДОВОЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ
ЕЛЕКТРОПОЇЗДА**

Доктори техн. наук Ю. Є. Калабухін, І. Е. Мартинов, аспірант С. І. Мартинов

**FORMALIZATION OF ELECTRIC TRAIN REPAIR COMPONENT LIFE CYCLE
ASSESSMENT**

**Dr. Sc. (Tech.) Yu. Ye. Kalabukhin, Dr. Sc. (Tech.) I. E. Martynov,
postgraduate student S. I. Martynov**

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.203.2023.277953>



***Анотація.** У статті розглянуто питання математичного опису ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда ЕПЛІ9т. Техніко-економічна оцінка цієї частини життєвого циклу тягового рухомого складу в цьому випадку залежить від довговічності та ремонтпридатності техніки. В основу математичного опису покладено нормативи планово-попереджувальної системи ремонту тягового рухомого складу залізниць України, зокрема електропоїзда серії ЕПЛІ9т.*

Техніко-економічний розрахунок з використанням запропонованого математичного підходу дає можливість досить точно оцінити ремонтну складову життєвого циклу. Це у свою чергу дасть змогу в подальшому використовувати його для розроблення повної математичної моделі життєвого циклу електропоїзда.

Ключові слова: життєвий цикл, електропоїзд, капітальний ремонт, ремонт, склад.

Abstract. *The article deals with the issue of the mathematical description of the repair component of the life cycle of the EPL9t electric train. At present, the development and use of the concept of the life cycle of traction rolling stock of railway transport is given considerable attention by both equipment manufacturers and its users. For Ukrainian railways, this scientific direction is especially relevant due to the fact that traction rolling stock is significantly worn out both physically and morally. This necessitates the rapid renewal of railway equipment through the acquisition of samples of domestic or foreign production. The feasibility study for choosing an alternative option for updating technology in world practice is based on the concept of the life cycle.*

The life cycle of an electric train covers a significant period of time. It includes both repair and operational components. The repair component is associated with carrying out technological measures to maintain it in a technically sound condition and periodically renew its original technical characteristics. This is facilitated by a system of scheduled preventive repairs. The determining factors in this case are the durability and maintainability of equipment. The results of forecasting long-term investment projects for the renewal of railway equipment depend on how accurately the technical and economic assessment of this component is given.

The mathematical description is based on the standards of the preventive maintenance system for the repair of traction rolling stock of Ukrainian railways and, in particular, the electric train of the EPL9t series. The analysis of the operational factors of the use of the electric train, influencing the formation of the repair component of the life cycle, was carried out.

A feasibility study using the proposed mathematical approach quite accurately estimates the repair component of the life cycle. The economic assessment of the repair component of the EPL9t series electric train was made according to the conditions of a specific route served by it during the life cycle.

The results obtained will be used in the future to develop a complete mathematical model of the life cycle of an electric train.

Keywords: life cycle, electric train, overhaul, maintenance, repair component.

Вступ. На сьогодні концепція життєвого циклу набуває все більш широкого розповсюдження на тяговий рухомий склад залізниць України. Це обумовлюється в першу чергу значним фізичним і моральним зносом залізничної техніки і відповідно проблемами її оновлення в період гострого недофінансування галузі. Концепцію життєвого циклу покладено в основу сучасного техніко-економічного аналізу вибору альтернативних варіантів оновлення тягового рухомого складу як за рахунок придбання нової техніки, так і модернізації існуючої. Життєвий цикл охоплює значний

період часу, протягом якого залізнична техніка експлуатується та підтримується в технічно справному стані. Тому від того, як точно буде дана техніко-економічна оцінка цих складових, залежать результати прогнозування довгострокових інвестиційних проєктів оновлення парку як тягового, так і нетягового рухомого складу залізниць України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні положення концепції життєвого циклу залізничної техніки, зокрема тягового рухомого складу, викладено в роботах [1-4]. Так, у статті [1] подано результати проведеного аналізу

складових, що формують життєвий цикл тягового рухомого складу, і запропоновано методологію їх визначення на етапі придбання.

У роботі [2] викладено теоретичні положення визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу на основі систематизації та оцінювання складових життєвого циклу відповідно до умов експлуатації. Основні теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу як передумова техніко-економічного обґрунтування його оновлення в сучасних умовах розвитку економіки наведено в дослідженні [3]. Однак, незважаючи на теоретичну визначеність, практична сторона розрахунку вартості складових життєвого циклу тягового рухомого складу з урахуванням умов експлуатації висвітлена досить обмежено. У публікації [4] викладено загальний огляд закордонного досвіду формування нормативних документів стосовно життєвого циклу залізничного рухомого складу. Автори підкреслюють, що методологія оцінювання життєвого циклу технічних об'єктів є одним з основних інструментів менеджменту в Європейському Союзі.

Результати практичного застосування теоретичних засад концепції подано в статтях [5-7]. Так, у роботі [5] наведено результати оцінювання техніко-економічних показників використання електропоїзда ЕПЛ9т у приміському русі, в основу визначення якої покладено сучасну методологію оцінювання життєвого циклу. Однак у роботі не виділено окремо економічну оцінку ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда. Результати визначення питомих середньоексплуатаційних техніко-економічних та екологічних показників функціонування маневрових тепловозів на основі систематизації та оцінювання складових життєвого циклу відповідно до умов експлуатації викладено в статті [6]. Результати дослідження обмежуються окремим типом тягового

рухомого складу, а саме маневровими тепловозами.

У роботі [7] визначено ремонтну складову життєвого циклу маневрового тепловоза відповідно до положень діючої планово-попереджувальної системи ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу. Але техніко-економічна оцінка ремонтної складової життєвого циклу, як і в попередній статті, обмежується окремим типом тягового рухомого складу, а саме маневровими тепловозами серії ЧМЕЗ.

У роботі [8] наведено методику визначення економічної ефективності функціонування окремого приміського пасажирського поїзда та раціональних зон їх курсування на окремих напрямках руху. Результати роботи не враховують функціонування окремого приміського пасажирського поїзда протягом життєвого циклу.

У статті [9] сформульовано визначення оцінки життєвого циклу локомотивів. Але автором не враховано особливості експлуатаційної роботи електропоїздів.

Дослідження [10] присвячено аналізу виникнення та розвитку поняття вартості життєвого циклу протягом декількох десятиліть. Автором визначено основні сфери застосування вартості життєвого циклу, розкрито можливості використання вартості життєвого циклу в тендерних запитах, визначено складності в розрахунку вартості життєвого циклу.

У роботах [11, 12] викладено точку зору виробника на внесок і межу використання інструменту «вартість життєвого циклу» і розглянуто перспективи у сфері прогнозування витрат на утримання технічних об'єктів.

Очевидно, що, незважаючи на значну кількість досліджень у цьому напрямі, концепція життєвого циклу рухомого складу потребує подальшого розвитку в плані більш детального розгляду її окремих складових і їхнього математичного опису у

прив'язці до умов експлуатації та системи утримання тягового рухомого складу в технічно справному стані.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є математичний опис оцінки ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда з урахуванням діючої планово-попереджувальної системи ремонту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз експлуатаційних факторів використання електропоїзда, що впливають на формування ремонтної складової життєвого циклу;

- розробити математичний опис ремонтної складової життєвого циклу

електропоїзда з урахуванням вимог планово-попереджувальної системи ремонту тягового рухомого складу;

- надати економічну оцінку ремонтної складової електропоїзда серії ЕПЛ19т за умовами конкретного маршруту, що ним обслуговується протягом життєвого циклу.

Основна частина дослідження. Розрахунок експлуатаційних показників використання електропоїзда слід проводити стосовно типових умов експлуатації або за умовами конкретного маршруту, що ним обслуговується [8]. За цих умов оборот електропоїзда на k -му маршруті розраховується за формулою

$$T_{обк} = \tau_{кр.о.д.} + \tau_{кр.об.д.} + \frac{1}{60} \times \left[\sum_{i=1}^{i=n} (t_{i,k,n}^{k,n} + t_{i,n,k,n}^{n,k,n}) + \sum_{j=1}^{j=m} (\tau_{j,k,n}^{k,n} + \tau_{j,n,k,n}^{n,k,n}) \right], \quad (1)$$

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

$t_{i,k,n}^{k,n}, t_{i,n,k,n}^{n,k,n}$ – час руху електропоїзда відповідно в парному та непарному напрямках на i -му перегоні маршруту без урахування часу простою на зупинних пунктах, хв;

$\tau_{j,k,n}^{k,n}, \tau_{j,n,k,n}^{n,k,n}$ – час простою електропоїзда на j -му зупинному пункті маршруту відповідно в парному та непарному напрямках, хв;

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

Час руху електропоїзда, простою на зупинних пунктах на конкретному маршруті

визначається графіком руху приміських поїздів.

Річна кількість днів курсування електропоїзда на k -му маршруті залежно від графіка курсування протягом тижня розраховується за формулою

$$D_{к,рікк} = \frac{365 \times D_{к,тждк}}{7}, \quad (2)$$

де $D_{к,тждк}$ – кількість днів курсування електропоїзда на k -му маршруті протягом тижня, дні.

Річний час роботи електропоїзда на маршрутах розраховується за формулою

$$T_{рік} = \sum_{k=1}^{k=z} (T_{обк} \times D_{к,рікк}) = \sum_{k=1}^{k=z} (T_{обк} \times \frac{365 \times D_{к,тждк}}{7}). \quad (3)$$

Річний пробіг електропоїзда за маршрутами розраховується за формулою

$$S_{\text{рік}} = \sum_{k=1}^{k=z} (2 \times L_k \times \frac{365 \times D}{7^{\text{к.тждк}}}), \quad (4)$$

де L_k – відстань k -го маршруту електропоїзда, км.

Пробіг електропоїзда за маршрутами за період життєвого циклу $T_{\text{ж.ц}}$ розраховується за формулою

$$S_{\text{ж.ц}} = S_{\text{рік}} \times T_{\text{ж.ц}} = T_{\text{ж.ц}} \times \sum_{k=1}^{k=z} (2 \times L_k \times \frac{365 \times D}{7^{\text{к.тждк}}}). \quad (5)$$

На сьогодні в основу утримання в технічно справному стані тягового рухомого складу залізниць України покладено планово-попереджувальну систему ремонту, регламентовану відповідним положенням АТ «Укрзалізниця» зі встановленням міжремонтних періодів і пробігів [13]. Для електропоїздів цим документом передбачено для проведення технічного обслуговування ТО-3 та поточного ремонту ПР-1 міжремонтні періоди в добах, для поточних і капітальних ремонтів – міжремонтні пробіги в кілометрах.

Виходячи з норм міжремонтних пробігів кількість капітальних ремонтів електропоїзда в обсязі КР-2 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$n_{\text{КР-2}} = \frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{КР-2}}}, \quad (6)$$

$$n_{\text{КР-1}} = \frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{КР-2}}} \times m_{\text{КР-1}} = S_{\text{ж.ц}} \times \left(\frac{1}{L_{\text{КР-1}}} - \frac{1}{L_{\text{КР-2}}} \right). \quad (8)$$

Кількість ремонтних циклів електропоїзда в обсязі КР-1 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$j = \frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{КР-1}}}. \quad (9)$$

де $L_{\text{КР-2}}$ – періодичність проведення капітального ремонту електропоїзда в обсязі КР-2, км.

Кількість капітальних ремонтів електропоїзда в обсязі КР-1 протягом одного ремонтного циклу КР-2 розраховується за формулою

$$m_{\text{КР-1}} = \frac{L_{\text{КР-2}}}{L_{\text{КР-1}}} - 1, \quad (7)$$

де $L_{\text{КР-1}}$ – періодичність проведення капітального ремонту електропоїзда в обсязі КР-1, км.

Кількість капітальних ремонтів електропоїзда в обсязі КР-1 протягом життєвого циклу складає

Кількість поточних ремонтів електропоїзда в обсязі ПР-3 протягом одного ремонтного циклу КР-1 розраховується за формулою

$$m_{\text{ПР-3}} = \frac{L_{\text{КР-1}}}{L_{\text{ПР-3}}} - 1, \quad (10)$$

де $L_{\text{ПР-3}}$ – періодичність проведення поточного ремонту електропоїзда в обсязі ПР-3, км.

Кількість поточних ремонтів електропоїзда в обсязі ПР-3 протягом життєвого циклу складає

$$n_{\text{ПР-3}} = j \times m_{\text{ПР-3}} = S_{\text{ж.ц}} \times \left(\frac{1}{L_{\text{ПР-3}}} - \frac{1}{L_{\text{КР-1}}} \right). \quad (11)$$

Кількість ремонтних циклів електропоїзда в обсязі ПР-3 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$k = \frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{ПР-3}}}. \quad (12)$$

Кількість поточних ремонтів електропоїзда в обсязі ПР-2 протягом одного ремонтного циклу ПР-3 розраховується за формулою

$$m_{\text{ПР-2}} = \frac{L_{\text{ПР-3}}}{L_{\text{ПР-2}}} - 1, \quad (13)$$

де $L_{\text{ПР-2}}$ – періодичність проведення поточного ремонту електропоїзда в обсязі ПР-2, км.

Кількість поточних ремонтів електропоїзда в обсязі ПР-2 протягом життєвого циклу складає

$$n_{\text{ПР-2}} = k \times m_{\text{ПР-2}} = S_{\text{ж.ц}} \times \left(\frac{1}{L_{\text{ПР-2}}} - \frac{1}{L_{\text{ПР-3}}} \right). \quad (14)$$

Кількість ремонтних циклів електропоїзда в обсязі ПР-2 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$l = \frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{ПР-2}}}. \quad (15)$$

Виходячи з норм міжремонтних періодів кількість поточних ремонтів електропоїзда в обсязі ПР-1 протягом одного ремонтного циклу ПР-2 розраховується за формулою

$$m_{\text{ПР-1}} = \frac{L_{\text{ПР-2}}}{t_{\text{ПР-1}} \times S_{\text{доб}}} - 1, \quad (16)$$

де $t_{\text{ПР-1}}$ – періодичність проведення поточного ремонту електропоїзда в обсязі ПР-1, діб;

$S_{\text{доб}}$ – середньодобовий пробіг електропоїзда, км.

Середньодобовий пробіг електропоїзда розраховується за формулою

$$S_{\text{доб}} = \frac{24 \times S_{\text{рік}}}{T_{\text{рік}}}. \quad (17)$$

Кількість поточних ремонтів електропоїзда в обсязі ПР-1 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$n_{\text{ПР-1}} = S_{\text{ж.ц}} \times \left(\frac{1}{t_{\text{ПР-1}} \times S_{\text{доб}}} - \frac{1}{L_{\text{ПР-2}}} \right). \quad (18)$$

Середньорічна кількість технічних обслуговувань електропоїзда в обсязі ПР-1 розраховується за формулою

$$\bar{n}_{\text{ПР-1}} = \frac{n_{\text{ПР-1}}}{T_{\text{ж.ц}}}. \quad (19)$$

Кількість ремонтних циклів електропоїзда в обсязі ПР-1 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$z = \frac{365 \times T_{\text{ж.ц.}}}{t_{\text{ПР-1}}}. \quad (20)$$

Кількість технічних обслуговувань електропоїзда в обсязі ТО-3 протягом одного ремонтного циклу ПР-1 розраховується за формулою

$$m_{\text{ТО-3}} = \frac{t_{\text{ПР-1}}}{t_{\text{ТО-3}}} - 1, \quad (21)$$

де $t_{\text{ТО-3}}$ – періодичність проведення технічного обслуговування електропоїзда в обсязі ТО-3, діб.

Кількість технічних обслуговувань електропоїзда в обсязі ТО-3 протягом життєвого циклу розраховується за формулою

$$n_{\text{ТО-3}} = z \times m_{\text{ТО-3}} = 365 \times T_{\text{ж.ц.}} \times \left(\frac{1}{t_{\text{ТО-3}}} - \frac{1}{t_{\text{ПР-1}}} \right). \quad (22)$$

Середньорічна кількість технічних обслуговувань електропоїзда в обсязі ТО-3 розраховується за формулою

$$\bar{n}_{\text{ТО-3}} = \frac{n_{\text{ТО-3}}}{T_{\text{ж.ц.}}}. \quad (23)$$

Враховуючи значну складність прогнозування зміни вартісних показників ремонтної складової протягом життєвого циклу, припускаємо їхнє незмінне значення протягом цього періоду на рівні року

початку прогнозування. Для врахування фактора часу застосовуємо коефіцієнт дисконтування, передбачений концепцією життєвого циклу. За цих умов витрати на утримання електропоїзда в технічно справному стані шляхом проведення поточних ремонтів і технічних обслуговувань і відновлення його ресурсу шляхом проведення капітальних ремонтів за життєвий цикл без урахування дисконтування розраховується за формулою

$$B_{\text{рем}} = B_{\text{КР-2}} \times n_{\text{КР-2}} + B_{\text{КР-1}} \times n_{\text{КР-1}} + B_{\text{ПР-3}} \times n_{\text{ПР-3}} + B_{\text{ПР-2}} \times n_{\text{ПР-2}} + B_{\text{ПР-1}} \times n_{\text{ПР-1}} + B_{\text{ТО-3}} \times n_{\text{ТО-3}}, \quad (24)$$

де $B_{\text{КР-2}}$, $B_{\text{КР-1}}$, $B_{\text{ПР-3}}$, $B_{\text{ПР-2}}$, $B_{\text{ПР-1}}$, $B_{\text{ТО-3}}$ – витрати на проведення одиниці ремонту електропоїзда в обсязі відповідно КР-2, КР-1, ПР-3, ПР-2, ПР-1 і технічного обслуговування ТО-3, грн.

Витрати на утримання електропоїзда в технічно справному стані шляхом проведення поточних ремонтів і технічних обслуговувань і відновлення його ресурсу

шляхом проведення капітальних ремонтів за життєвий цикл з урахуванням дисконтування розраховується за формулою

$$B_{\text{рем}} = B_{\text{КР-2}} \times \sum \alpha_{\text{КР-2}} + B_{\text{КР-1}} \times \sum \alpha_{\text{КР-1}} + B_{\text{ПР-3}} \times \sum \alpha_{\text{ПР-3}} + B_{\text{ПР-2}} \times \sum \alpha_{\text{ПР-2}} + B_{\text{ПР-1}} \times \bar{n}_{\text{ПР-1}} \times \sum \alpha_{\text{ПР-1}} + B_{\text{ТО-3}} \times \bar{n}_{\text{ТО-3}} \times \sum \alpha_{\text{ТО-3}}, \quad (25)$$

де $\sum \alpha_{\text{КР-2}}$, $\sum \alpha_{\text{КР-1}}$, $\sum \alpha_{\text{ПР-3}}$, $\sum \alpha_{\text{ПР-2}}$, $\sum \alpha_{\text{ПР-1}}$, $\sum \alpha_{\text{ТО-3}}$ – сумарний коефіцієнт дисконтування за роками проведення відповідного виду капітального ремонту в обсязі КР-2 та КР-1, поточного ремонту в обсязі ПР-3, ПР-2, ПР-1 і технічного обслуговування ТО-3.

Сумарні коефіцієнти дисконтування за роками проведення відповідного виду капітального ремонту в обсязі КР-2 та КР-1, поточного ремонту в обсязі ПР-3, ПР-2, ПР-1 і технічного обслуговування ТО-3 розраховуються за формулами

$$\sum \alpha_{\text{КР-2}} = \sum_{i=1}^{\frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{КР-2}}}} [(1 + E_{\text{н}})^{1-i \times \frac{L_{\text{КР-2}}}{S_{\text{рік}}}}]; \quad (26)$$

$$\sum \alpha_{\text{КР-1}} = \sum_{j=1}^{\frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{КР-1}}}} [(1 + E_{\text{н}})^{1-j \times \frac{L_{\text{КР-1}}}{S_{\text{рік}}}}] - \sum \alpha_{\text{КР-2}}; \quad (27)$$

$$\sum \alpha_{\text{ПР-3}} = \sum_{k=1}^{\frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{ПР-3}}}} [(1 + E_{\text{н}})^{1-k \times \frac{L_{\text{ПР-3}}}{S_{\text{рік}}}}] - \sum \alpha_{\text{КР-2}} - \sum \alpha_{\text{КР-1}}; \quad (28)$$

$$\sum \alpha_{\text{ПР-2}} = \sum_{l=1}^{\frac{S_{\text{ж.ц}}}{L_{\text{ПР-2}}}} [(1 + E_{\text{н}})^{1-l \times \frac{L_{\text{ПР-2}}}{S_{\text{рік}}}}] - \sum \alpha_{\text{КР-2}} - \sum \alpha_{\text{КР-1}} - \sum \alpha_{\text{ПР-3}}; \quad (29)$$

$$\sum \alpha_{\text{ПР-1}} = \sum_{t=1}^{t=T_{\text{ж.ц}}} (1 + E_{\text{н}})^{1-t}; \quad (30)$$

$$\sum \alpha_{\text{ТО-3}} = \sum_{t=1}^{t=T_{\text{ж.ц}}} (1 + E_{\text{н}})^{1-t}, \quad (31)$$

де i , j , k , l – кількість ремонтних циклів за видами ремонту відповідно в обсязі КР-2 та КР-1, ПР-3 та ПР-2 протягом життєвого циклу.

За вихідними даними табл. 1 та 2 у табл. 3 наведено результати розрахунку кількості капітальних, поточних ремонтів і технічних обслуговувань ТО-3 електропоїзда ЕПЛ9т і витрат на їх проведення за життєвий цикл.

Графічне зображення результатів техніко-економічного оцінювання

ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда ЕПЛ9т з урахуванням дисконтування наведено на рис. 1.

Відхилення результатів розрахунку від значень, визначених за нормативним графіком проведення відповідних видів ремонту і технічного обслуговування ТО-3, не перевищують 6,9 %. Це підтверджує достовірність формалізації кількісної та вартісної оцінки ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда.

Таблиця 1

Вихідні дані до техніко-економічного оцінювання ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда ЕПЛ9т

Показник	Значення показника
Період життєвого циклу Т, роки	32
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
Витрати на одиницю ремонту (значення умовні), тис. грн:	
капітального ремонту КР-2, тис. км	10000
капітального ремонту КР-1, тис. км	5000
поточного ремонту ПР-3, тис. км	500
поточного ремонту ПР-2, тис. км	300
поточного ремонту ПР-1, діб	100
технічного обслуговування ТО-3, діб	30
Розрахунковий рік	1
Норма дисконту	0,1

Таблиця 2

Умови експлуатації електропоїзда ЕПЛ9т

Маршрут курсування	Час відправлення	Час прибуття	Час на маршруті, год	Відстань, км
станція Х - станція Л	5:54	9:28	3,57	148
Простій на станції Л, год			0,02	
станція Л - станція Д	9:29	10:08	0,65	38
Простій електропоїзда по обороту, год			0,25	
станція Д - станція Л	10:23	11:01	0,63	38
Простій на станції Л, год			0,03	
станція Л - станція Х	11:03	14:43	3,67	148
Простій електропоїзда по обороту, год			1,18	
станція Х - станція Л	15:54	17:53	1,98	148
Простій електропоїзда по обороту, год			0,68	
станція Л - станція Х	18:34	20:51	2,28	148
Простій електропоїзда в основному депо, год			9,05	
Оборот електропоїзда, год			24,00	
Добовий пробіг електропоїзда, км				668

Таблиця 3

Результати техніко-економічного оцінювання ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда ЕПЛ9т

Показник	Значення показника		Відхилення
	за розрахунком	за графіком	
1	2	3	4
Періодичність курсування, дні/тижд.	7	7	
Річний час роботи електропоїзда, год	8760	8760	
Час роботи електропоїзда за життєвий цикл, год	280320	280320	
Річний пробіг електропоїзда, км	243820	243820	
Пробіг електропоїзда за життєвий цикл, тис. км	7802,24	7802,24	
Середньодобовий пробіг електропоїзда, км	668	668	
Сумарний коефіцієнт дисконтування КР-2	0,791	0,791	
Витрати на одиницю КР-2 у розрахунковому році, тис. грн	10000	10000	
Кількість капітальних ремонтів КР-2 за життєвий цикл	3,7	3	-0,7
Витрати на проведення КР-2 за життєвий цикл, тис. грн	37153,5	30000	-7153,5
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	7907,6	7907,6	
Кількість ремонтних циклів КР-1 за життєвий цикл j	11,1	11,1	
Сумарний коефіцієнт дисконтування КР-1	2,478	2,5	
Витрати на одиницю КР-1 у розрахунковому році, тис. грн	5000	5000,0	
Кількість капітальних ремонтів КР-1 за життєвий цикл	7,4	7	-0,4
Витрати на проведення КР-1 за життєвий цикл, тис. грн	37153,5	35000,0	-2153,5
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	12388,9	12388,9	
Кількість ремонтних циклів ПР-3 за життєвий цикл k	22,3	22,3	
Сумарний коефіцієнт дисконтування ПР-3	3,810	3,810	
Витрати на одиницю ПР-3 у розрахунковому році, тис. грн	500	500	
Кількість поточних ремонтів ПР-3 за життєвий цикл	11,1	11	-0,1
Витрати на проведення ПР-3 за життєвий цикл, тис. грн	5573,0	5500,0	-73,0
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	1905,0	1905,0	
Кількість ремонтних циклів ПР-2 за життєвий цикл l	44,6	44,6	
Сумарний коефіцієнт дисконтування ПР-2	7,638	7,638	
Витрати на одиницю ПР-2 у розрахунковому році, тис. грн	300	300	
Кількість поточних ремонтів ПР-2 за життєвий цикл	22,3	22	-0,3
Витрати на проведення ПР-2 за життєвий цикл, тис. грн	6687,6	6600,0	-87,6
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	2291,3	2291,3	
Сумарний коефіцієнт дисконтування ПР-1	10,479	10,479	
Витрати на одиницю ПР-1 у розрахунковому році, тис. грн	100	100,0	
Кількість поточних ремонтів ПР-1 за життєвий цикл	150,1	150	
Середньорічна кількість поточних ремонтів ПР-1	4,69	4,7	
Витрати на проведення ПР-1 за життєвий цикл, тис. грн	15008,2	15000,0	-8,2

Продовження табл. 3

1	2	3	4
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	4914,7	4914,7	
Сумарний коефіцієнт дисконтування ТО-3	10,479	10,5	
Витрати на одиницю ТО-3 у розрахунковому році, тис. грн	30	30,0	
Кількість технічних обслуговувань ТО-3 за життєвий цикл	1473,9	1474,0	
Середньорічна кількість технічних обслуговувань ТО-3	46,1	46,1	
Витрати на проведення ТО-3 за життєвий цикл, тис. грн	44217,1	44220,0	2,9
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	14479,8	14479,8	
Витрати на ремонт і технічне обслуговування за життєвий цикл, тис. грн	145793,1	136320,0	-9473,1
Те саме з урахуванням дисконтування, тис. грн	43887,2	43887,2	

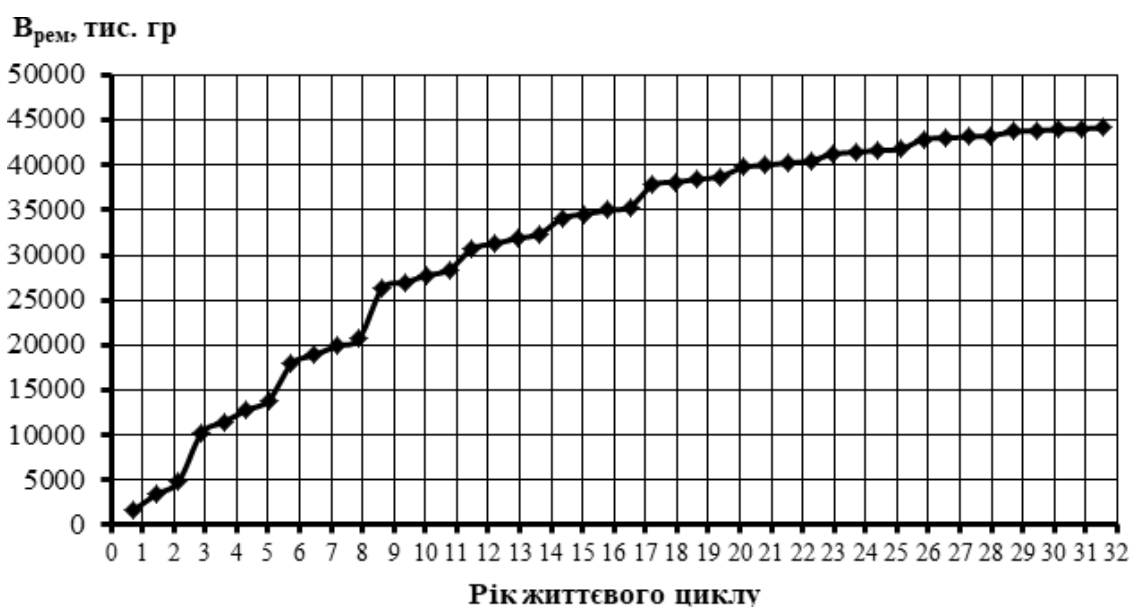


Рис. 1. Ремонтна складова життєвого циклу електропоїзда ЕПЛ9т з урахуванням дисконтування

Висновки:

- проведено аналіз експлуатаційних факторів використання електропоїзда, що впливають на формування ремонтної складової життєвого циклу;

- розроблено математичний опис ремонтної складової життєвого циклу електропоїзда з урахуванням вимог планово-попереджувальної системи ремонту тягового рухомого складу;

- надано економічну оцінку ремонтної складової електропоїзда серії

ЕПЛ9т за умовами конкретного маршруту, що ним обслуговується протягом життєвого циклу.

Отже, запропонований техніко-економічний підхід з достатньою точністю оцінює ремонтну складову життєвого циклу, що дасть змогу в подальшому використати його для розроблення загальної математичної моделі життєвого циклу електропоїзда.

Список використаних джерел

1. Методы оценки жизненного цикла подвижного состава железных дорог: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. Луганск: Ноулидж, 2011. 174 с.
2. Калабухін Ю. Є. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2009. Вип. 111. С. 106-120.
3. Калабухін Ю. Є. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна*. 2008. Вип. 24. С. 221–225.
4. Оценка жизненного цикла / Э. Д. Тартаковский, А. П. Фалендыш, Ю. Е. Калабухин, С. Г. Грищенко. *Локомотив-информ*. 2013. № 2(80). С. 56-60.
5. Калабухін Ю. Е., Грищенко С. Г., Фалендиш А. П. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників використання сучасних електропоїздів з урахуванням життєвого циклу. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. Луганськ. 2009. № 4 (134). Ч. 1. С. 193-199.
6. Калабухін Ю. Е. Результати дослідження варіантів оновлення маневрових тепловозів у відповідності до умов експлуатаційної роботи протягом життєвого циклу. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2010. Вип. 119. С. 22-127.
7. Калабухін Ю. Е., Рудковський О. В. Формалізація оцінки ремонтної складової життєвого циклу маневрового тепловоза. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 4. С. 199-203.
8. Методичний підхід щодо визначення ефективності функціонування окремого приміського пасажирського поїзда / Ю. С. Бараш, М. П. Сначов, О. О. Матусевич, Х. В. Кравченко. *Збірник наукових праць ДНУЗТ імені В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту»*. 2014. Вип. 7. С. 88-100.
9. Крашенінін О. С., Фалендиш А. П. Оцінка життєвого циклу локомотивів. *Збірник наукових праць ХарДАЗТ*. 2001. Вип. 68. С. 55-58.
10. Понтисселли К. Стоимость жизненного цикла железнодорожного подвижного состава. От теории к практике. *Техника железных дорог*. 2009. № 4 (8). С. 19-24.
11. Selecting Test and Maintenance Strategies to achieve Availability Target with lowest Life Cycle Cost, P. Dersin, F. Perrone, C. Arroum (ALSTOM Transport) RAMS 2008, Las Vegas, NE, USA.
12. Achieving Availability Cost-effectively in complex Systems, P. Dersin (ALSTOM Transport); Tutorial, RAMS 2009, Fort Worth, TX, USA.
13. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів): затв. наказом Укрзалізниці від 15.10.2015 р. № 429-Ц/ОД. Київ : Укрзалізниця, 2015. 45 с.

Калабухін Юрій Євгенович, доктор технічних наук, професор кафедри маркетингу, комерційної діяльності та економічної теорії, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD:

<https://orcid.org/0000-0003-3693-7607>. Тел.: (057) 057-730-10-47. E-mail: kalabuxin-fet@ukr.net.

Мартинів Ігор Ернстович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>. Тел.: (057) 730-10-36. E-mail: martinov.hiit@gmail.com.

Мартинів Станіслав Ігорович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1826-6053>. Тел.: +38 (050) 303-98-50. E-mail: st.mrtnv@gmail.com.

Kalabukhin Yuri, Dr. Sc. (Tech). Professor, Department of marketing, business activity and economic theory, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3693-7607>. Тел.: (057) 057-730-10-47. E-mail: kalabuxin-fet@ukr.net.

Martynov Igor, Dr. Sc. (Tech). Professor, head department of wagons engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>. Tel. (057) 730-10-36. E-mail: martinov.hiit@gmail.com.

Martynov Stanislav. Postgraduate student, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-6053>. Тел.: +38 (050) 303-98-50. E-mail: st.mrtvn@gmail.com.

Статтю прийнято 12.03.2023 р.