

УДК 629.4

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.166.2016.92942>

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТА ОНОВЛЕННЯ ЛОКОМОТИВІВ З
УРАХУВАННЯМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

О. В. Рудковський, д-р техн. наук Ю. Є. Калабухін

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ОБНОВЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ С
УЧЕТОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

О. В. Рудковский, д-р техн. наук Ю. Е. Калабухин

**JUSTIFICATION OF THE CHOICE OPTIONS FOR UPDATING LOKOMOTIVES WITH
LIFE-CYCLE**

O. V. Rudkovsky, Dr. Sc. Sciences Y. E. Kalabuhin

Проаналізовано проблеми, що виникають у зв'язку із реалізацією програми оновлення тягового рухомого складу локомотивного господарства залізниць України. Розглянуто теоретичні підходи до техніко-економічного обґрунтування вибору варіанта оновлення локомотивів за рахунок придбання нових зразків або модернізації існуючих з урахуванням життєвого циклу. Визначено, що запропонований теоретичний підхід може бути

покладений в основу техніко-економічного обґрунтування інвестиційних рішень розвитку локомотивного господарства залізниць України.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, оновлення, модернізація, техніко-економічний аналіз, життєвий цикл, вартість життєвого циклу.

Приведен анализ проблем, которые возникают в связи с реализацией программы обновления тягового подвижного состава локомотивного хозяйства железных дорог Украины. Рассмотрен теоретический подход к технико-экономическому обоснованию выбора варианта обновления локомотивов за счет приобретения новых образцов или модернизации существующих с учетом жизненного цикла. Определено, что предлагаемый теоретический подход может быть положен в основу технико-экономического обоснования инвестиционных решений развития локомотивного хозяйства железных дорог Украины.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, обновление, модернизация, технико-экономический анализ, жизненный цикл, стоимость жизненного цикла.

An analysis of the problems that arise in connection with the implementation of the program of renovation of traction rolling stock locomotive economy of railways of Ukraine. The theoretical approach to feasibility select the option upgrade locomotives due to the acquisition of new samples, or upgrading existing, taking into account the life cycle. It determined that the proposed-my theoretical approach could be the basis for a feasibility study on the investment decisions of a locomotive economy of railways of Ukraine.

Keywords: traction rolling stock, upgrading, modernization, technical and economic analysis, life cycle, life cycle cost.

Вступ та актуальність теми. Забезпечення перевезень залізницями України в необхідному обсязі на теперішній час залишається під питанням у зв'язку із несприятливим становищем тягового рухомого складу. Так, середній вік тепловозів перевищує нормативні терміни, а їх планове оновлення майже не проводилось за останні 20 років. Це викликає погіршення загального технічного стану, зниження експлуатаційної надійності та значне зростання експлуатаційних витрат.

Проблема оновлення парку локомотивів може бути вирішена як за рахунок придбання та постачання нового, так і модернізації існуючого тягового рухомого складу з подовженням терміну служби. В умовах недофінансування галузі вибір варіанта оновлення потребує проведення техніко-економічного аналізу з обов'язковим урахуванням життєвого циклу конкретної серії локомотива.

Огляд досліджень. Питанням використання аналізу LCC (Life Cycle Cost) як інструменту в процесі прийняття рішення при реалізації рішень стосовно оновлення тягового рухомого складу приділяється в останні 10 років важлива увага.

В роботах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] подано як загальні теоретичні положення вартості життєвого циклу, так і відносно до життєвого циклу тягового рухомого складу, обумовлена необхідність використання LCC-аналізу для вирішення проблеми оновлення локомотивів. В роботах [9, 10] надано підхід та принципи методології оцінки вартості життєвого циклу та її складових для тягового рухомого складу. В статті [11] зіставлені результати LCC-аналізу серійного тепловоза BR232 та сучасного серії ER20, що експлуатуються компанією EVB (Германія).

Мета роботи. Метою статті є виклад теоретичних положень техніко-

економічного аналізу при виборі варіантів оновлення тягового рухомого складу за рахунок придбання нової техніки чи модернізації існуючої з подовженням терміну її служби з урахуванням життєвого циклу.

Основна частина. Нормативний термін служби нової тягової одиниці складає T_H років, модернізованої – T_M років. Очевидно, що $T_H > T_M$. За цих умов порівняння альтернативних варіантів оновлення слід проводити за період T_M . Для обох варіантів, як припущення, приймаємо однакові обсяги експлуатаційної роботи як

за окремими роками, так і за весь період, тобто $\sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_M} OEP_t^H = \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_M} OEP_t^M$, де

OEP_t^M , OEP_t^H – поточне значення обсягу експлуатаційної роботи відповідно, модернізованої та нової тягової одиниці на момент року t в одиницях експлуатаційної роботи (о.е.р.).

Протягом періоду, що розглядається, можливі такі варіанти співвідношення вартості життєвих циклів нової тягової одиниці LCC_H та модернізованої LCC_M :

$$\begin{aligned} 1) \quad & \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_M} LCC_t^H \geq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_M} LCC_t^M \text{ при } t_p \leq t \leq t_p + T_M; \\ 2) \quad & \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_M} LCC_t^H \leq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_M} LCC_t^M \text{ при } t_p \leq t \leq t_p + T_M; \\ 3) \quad & \begin{cases} \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^H \geq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^M \text{ при } t_p \leq t \leq t_p + T_d; \\ \sum_{t=t_d}^{t=T_M} LCC_t^H \leq \sum_{t=t_d}^{t=T_M} LCC_t^M \text{ при } t_d \leq t \leq T_M; \end{cases} \\ 4) \quad & \begin{cases} \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^H \leq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^M \text{ при } t_p \leq t \leq t_p + T_d; \\ \sum_{t=t_d}^{t=T_M} LCC_t^H \geq \sum_{t=t_d}^{t=T_M} LCC_t^M \text{ при } t_d \leq t \leq T_M, \end{cases} \end{aligned}$$

де LCC_t^M , LCC_t^H – поточне значення вартості життєвого циклу відповідно модернізованої та нової тягової одиниці на момент року t , грн.;

t_p – розрахунковий рік життєвого циклу;

T_d – період пріоритетного використання одного з альтернативних варіантів оновлення тягового рухомого складу, рр.

Очевидно, за результатами першого варіанта співвідношення вартості життєвих циклів переважною є модернізація існуючих зразків техніки перед придбанням нових зразків, за результатами другого варіанта – придбання нових зразків перед модернізацією існуючих зразків техніки.

Третій та четвертий варіанти співвідношення вартості життєвих циклів

потребують додаткового техніко-економічного аналізу. Для цих варіантів характерною є точка перетину вартості життєвих циклів за варіантами оновлення в декотрий рік t_d . Очевидно, що у випадку, коли період T_d перевищує період T_m , можна стверджувати про доцільність придбання

нового зразка тягового рухомого складу в порівнянні з модернізацією існуючої тягової одиниці.

На рисунку наведено третій варіант співвідношення вартості життєвих циклів модернізованої та нової тягової одиниці.

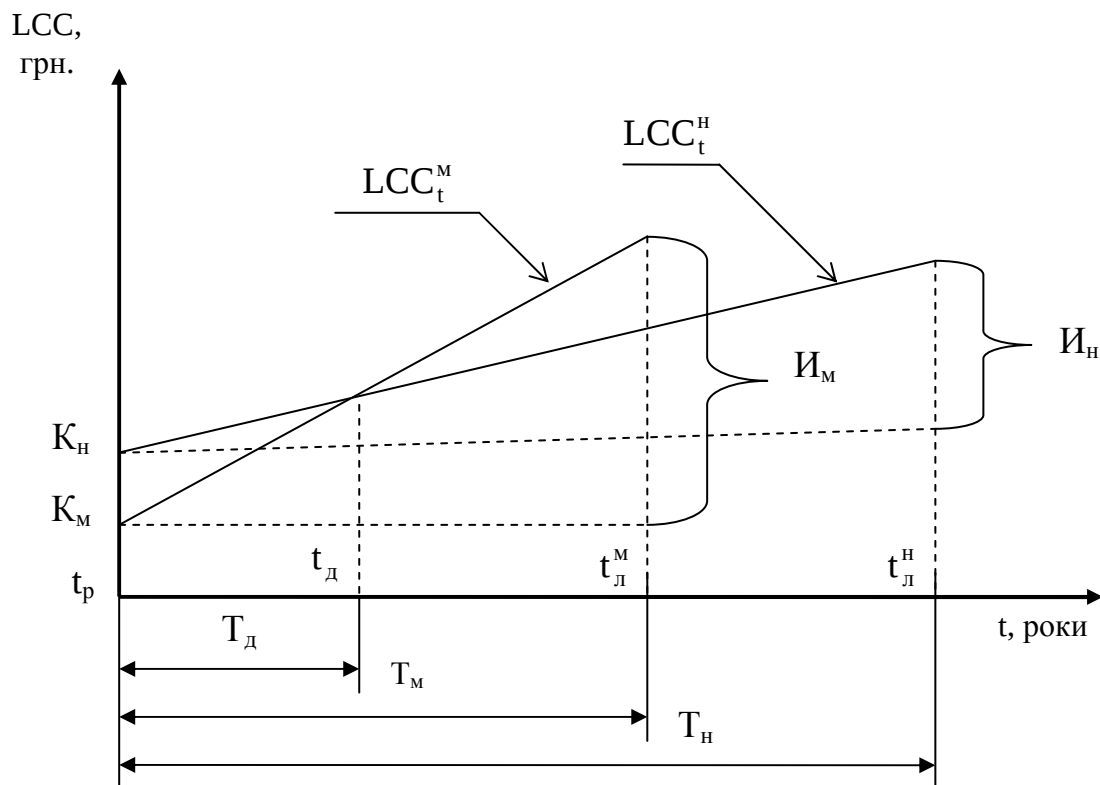


Рис. Зміна вартості життєвого циклу тягової одиниці протягом етапу використання

Вартість життєвого циклу тягової одиниці за весь період використання визначається за формулами:

- модернізованої

$$LCC_M = K_M + I_M - L_M; \quad (1)$$

- нової

$$LCC_H = K_H + I_H - L_H, \quad (2)$$

де K_M , K_H – одноразові витрати відповідно на модернізацію існуючої та придбання нової тягової одиниці, грн;

I_M , I_H – після продажні витрати за весь період життєвого циклу відповідно, модернізованої та нової тягової одиниці, грн;

L_M , L_H – ліквідаційне сальдо відповідно модернізованої та нової тягової одиниці, грн.

Приймаємо, що модернізація існуючої або придбання нової тягової одиниці здійснюється на момент розрахункового року t_p . Це дозволяє врахувати одноразові витрати на модернізацію існуючої та придбання нової тягової одиниці з коефіцієнтом дисконтування $\alpha_t=1,0$.

Післяпродажні витрати за весь період життєвого циклу тягової одиниці визначаються за формулами:

- модернізованої

$$I_M = \sum_{t=t_p}^{t=T_M} (I_t^M + C_t^{KPM}) \cdot \alpha_t; \quad (3)$$

- нової

$$I_H = \sum_{t=t_p}^{t=T_H} (I_t^H + C_t^{KPH}) \cdot \alpha_t, \quad (4)$$

де C_t^{KPM}, C_t^{KPH} – ціна капітального ремонту тягової одиниці відповідно модернізованої та нової, грн.

Коефіцієнт дисконтування визначається α_t за формулою

$$\alpha_t = (1 + E_H)^{t_p - t}, \quad (5)$$

де E_H – норма дисконту.

Річна складова післяпродажних витрат в рік t життєвого циклу тягової одиниці визначається за формулами:

- модернізованої

$$I_t^M = I_t^{M.pr.v} + I_t^{M.3B} + I_t^{M.a}; \quad (6)$$

- нової

$$I_t^H = I_t^{H.pr.v} + I_t^{H.3B} + I_t^{H.a}, \quad (7)$$

де $I_t^{M.pr.v}, I_t^{H.pr.v}$ – прямі виробничі витрати на експлуатацію та утримання відповідно модернізованої та нової тягової одиниці в технічно справному стані в рік t життєвого циклу, грн;

$I_t^{M.3B}, I_t^{H.3B}$ – загально виробничі витрати, що припадають відповідно на модернізовану та нову тягову одиницю, грн;

$I_t^{M.a}, I_t^{H.a}$ – адміністративні витрати, що припадають відповідно на модернізовану та нову тягову одиницю, грн.

За умови складності визначення впливу використання модернізованої або нової тягової одиниці на значення загально виробничих та адміністративних витрат приймаємо $I_t^{M.3B} = I_t^{H.3B} = I_t^{3B}$, та $I_t^{M.a} = I_t^{H.a} = I_t^a$, де I_t^{3B}, I_t^a – відповідно загальновиробничі та адміністративні витрати на одиницю існуючої серії тягового рухомого складу.

Ліквідація тягової одиниці здійснюється в останньому році періоду життєвого циклу, тобто модернізованої тягової одиниці в рік $t_L^M = t_p + T_M$, а нової в рік $t_L^H = t_p + T_H$ рисунок. Ліквідаційне сальдо тягової одиниці за цих умов враховується з відповідними коефіцієнтами дисконтування, а саме:

- для модернізованої тягової одиниці

$$\alpha_{t_L^M} = (1 + E_H)^{t_p - t_L^M} = \frac{1}{(1 + E_H)^{T_M}}; \quad (8)$$

- для нової тягової одиниці

$$\alpha_{t_L^H} = (1 + E_H)^{t_p - t_L^H} = \frac{1}{(1 + E_H)^{T_H}}. \quad (9)$$

Виходячи з того, що при аналізі вартість життєвого циклу альтернативних варіантів оновлення розглядається за період життєвого циклу модернізованої тягової одиниці T_M , для якого виконується умова $T_M \ll T_H$, ліквідаційне сальдо нової тягової одиниці у формулі (2) не враховується.

З урахуванням вищевказаного вартість життєвого циклу тягової одиниці за період T_M визначається за формулами:

- модернізованої

$$LCC_M = K_M + \sum_{t_p}^{t_p+T_M} (I_t^{м.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{КРМ}) \cdot \alpha_t - \frac{L_M}{(1+E_H)^{T_M}}; \quad (10)$$

- нової

$$LCC_H = K_H + \sum_{t_p}^{t_p+T_M} (I_t^{н.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{КРН}) \cdot \alpha_t. \quad (11)$$

Рік t_d (рисунок) визначає початок пріоритету техніко-економічних показників одного альтернативного варіанта оновлення тягової одиниці над іншим.

Очевидно, в рік t_d виконуються умови $LCC_{t_d}^M = LCC_{t_d}^H$ та $T_d \leq T_M \leq T_H$. Тобто в рік t_d ліквідація нового зразка тягового рухомого складу не передбачається, а модернізована можлива, якщо $T_d = T_M$.

З урахуванням цього можна записати вираз для визначення періоду T_d пріоритетного використання одного альтернативного варіанта оновлення тягової одиниці над іншим $LCC_{t_d}^M = LCC_{t_d}^H$ або $LCC_{t_d}^M - LCC_{t_d}^H = 0$.

За період $t_p + T_d \leq t_p + T_M$ вартість життєвого циклу тягової одиниці визначається за формулами:

- модернізованої

$$LCC_{t_d}^M = K_M + \sum_{t_p}^{t_p+T_d} (I_t^{м.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{КРМ}) \cdot \alpha_t - \frac{L_M}{(1-E_H)^{T_M}}; \quad (12)$$

- нової

$$LCC_{t_d}^H = K_H + \sum_{t_p}^{t_p+T_d} (I_t^{н.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{КРН}) \cdot \alpha_t. \quad (13)$$

Очевидно, якщо за цей період $LCC_{t_d}^M \leq LCC_{t_d}^H$, то пріоритетним є використання модернізованої тягової одиниці перед новим зразком та навпаки – у разі $LCC_{t_d}^M \geq LCC_{t_d}^H$. Так як загальновиробничі

та адміністративні витрати на одиницю існуючої серії тягового рухомого складу для альтернативних варіантів однакові, то при проведенні техніко-економічного аналізу ними можна нехтувати. Тоді формули (12) та (13) набувають вигляду:

$$LCC_{t_d}^M = K_M + \sum_{t_p}^{t_p+T_d} (I_t^{м.пр.в} + C_t^{КРМ}) \cdot \alpha_t - \frac{L_M}{(1-E_H)^{T_M}}; \quad (14)$$

$$LCC_{t_d}^H = K_H + \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} (I_t^{H,пр.в} + C_t^{KP_H}) \cdot \alpha_t. \quad (15)$$

Слід відзначити, що висновок про пріоритетність одного з альтернативних варіантів оновлення тягової одиниці буде дійсний лише до моменту отриманого значення t_d . Тому наступним кроком у вирішенні питання пріоритетності того чи іншого альтернативного варіанта

оновлення тягової одиниці є проведення аналогічного техніко-економічного аналізу за період від моменту часу t_d до моменту $t_L^M = t_p + T_M$. За цей період формули (4) та (5) набувають вигляду:

$$LCC_{t_M}^M = LCC_{t_B}^M + \sum_{t=t_d}^{t=T_M} (I_t^{M,пр.в} + C_t^{KP_M}) \cdot \alpha_t - \frac{J_M}{(1 - E_H)^{T_M}}; \quad (16)$$

$$LCC_{t_M}^H = LCC_{t_d}^H + \sum_{t=t_d}^{t=T_M} (I_t^{H,пр.в} + C_t^{KP_H}) \cdot \alpha_t. \quad (17)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, запропонований теоретичний підхід є подальшим розвитком положень техніко-економічного аналізу на основі вартості життєвого циклу і може бути покладений в основу техніко-

економічного обґрунтування інвестиційних рішень розвитку локомотивного господарства залізниць України. Перспективою подальших робіт у цьому напрямку дослідження є адаптація наведених показників до особливостей та обсягів експлуатаційної роботи тягового рухомого складу.

Список використаних джерел

1. Павлов, Л. Н. Концепция стоимости жизненного цикла как инструмент взаимодействия поставщиков и потребителей в условиях рыночной экономики в Европе [Текст] / Л. Н. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С. 75-77.
2. Павлов, Л. Н. Оценка стоимости жизненного цикла железнодорожной техники [Текст] / Л. Н. Павлов, Ю. И. Соколов, Н. Е. Вавилов // Экономика железных дорог. – 2006. – № 11. – С. 15-19.
3. Иванова, Н. Г. Применение методики расчета стоимости жизненного цикла при оценке эффективности инноваций на железнодорожном транспорте [Текст] / Н. Г. Иванова // Локомотив-информ. – 2007. – № 8. – С. 12-15.
4. Иванова, Н. Г. Применение показателя стоимости жизненного цикла при оценке эффективности новых локомотивов [Текст] / Н. Г. Иванова // Бюллетень транспортной информации. – 2007. – № 1. – С. 21-25.
5. Калабухін, Ю. Є. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу [Текст] / Ю. Є. Калабухін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 24. – С. 221–225.

6. Калабухін, Ю. Є. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу [Текст] / Ю. Є. Калабухін, Е. Д. Тартаковський // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 106-120.

7. Estimating the marginal costs of bridge damage due to overweight vehicles using a modified equivalent-vehicle methodology and in-service data on life-cycle costs and usage / Bismark R.D.K. Agbelie, Samuel Labi, Kumares C. Sinha // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – Vol. 95. – P. 275–288.

8. Combined Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing in the Eco-Care-Matrix: A case study on the performance of a modernized manufacturing system for glass containers / Johannes Auer, Niki Bey, Johannes-Marius Schäfer // Journal of Cleaner Production. – Vol. 141 – P. 99–109.

9. Методы оценки жизненного цикла подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. – Л.: Ноулидж, 2011. – 174 с.

10. Тартаковский, Э. Д. Оценка жизненного цикла [Текст] / Э. Д. Тартаковский, А. П. Фалендыш, Ю. Е. Калабухин, С. Г. Грищенко // Локомотив-информ. – 2013. – № 2(80). – С. 56-60.

11. Сравнение затрат жизненного цикла на примере тепловозов серий BR232 и ER20 [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – № 11. – С. 67-71.

Калабухін Юрій Євгенович, д-р техн. наук, професор, декан економічного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-12.

Рудковський Олег Вадимович, викладач Одеського коледжу транспортних технологій.

Kalabuhin George E., dr. sc., professor, dean of the faculty of economics of Ukrainian state University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-12.

Rudkovskaya Oleg V., Odessa College lecturer transport.

Стаття прийнята 12.12.2010бр.