

О. В. Рудковський, викладач

Одеський коледж транспортних технологій
площа Олексіївська, 17, м. Одеса, 65029, Україна
otzt@rambler.ru

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗА

Розглянуто актуальну науково-технічну проблему комплексного оновлення залізничного рухомого складу України. Аналіз вікового стану локомотивів, які обслуговують вантажний, пасажирський, маневровий рух, вказує на необхідність їх всебічного оновлення як за рахунок придбання нових зразків локомотивів, так і за рахунок модернізації існуючих тяглових агрегатів.

На основі аналітичного дослідження показано, що другий варіант оновлення дозволяє подовжити строк служби тепловозів, використовуючи модернізацію окремих вузлів та агрегатів із суттєво меншими капітальними витратами, ніж у випадку придбання нового обладнання. Також викладено теоретичні положення оцінювання життєвого циклу тепловоза після модернізації його вузлів та агрегатів на основі показника LCC (вартість життєвого циклу).

Ключові слова: рухомий склад, життєвий цикл, модернізація (оновлення) вузлів та агрегатів, техніко-економічні показники використання тягової одиниці, показник вартості життєвого циклу.

Актуальність теми. Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки, яку введено в дію наказом Міністерства транспорту і зв'язку від 14 жовтня 2008 р. № 1259, передбачено всебічне оновлення тягового рухомого складу залізниць. Це можливо як за рахунок його модернізації, так і за рахунок придбання нових зразків вітчизняного або зарубіжного виробництва.

Аналіз вікового стану тепловозів, що обслуговують вантажний, пасажирський та маневровий рух, вказує на необхідність широкомасштабного їх оновлення як за рахунок придбання нових зразків, так і за рахунок модернізації існуючих тягових одиниць. Другий напрям оновлення дозволяє подовжити термін експлуатації тепловозів за рахунок модернізації окремих вузлів та агрегатів зі значно меншими капітальними витратами, ніж придбання нової техніки, що важливо в умовах інвестиційних обмежень залізниць України. Модернізація окремих вузлів та агрегатів, безумовно, впливає на життєвий цикл тепловоза, тому зіставлення витрат на модернізацію з техніко-економічними показниками використання тягової одиниці протягом життєвого циклу є вельми актуальним.

Огляд досліджень. На теперішній час невід'ємним компонентом економічних відно-

син на ринках промислової продукції між виробниками та замовниками залізничної техніки стає взаємодія в рамках концепції вартості життєвого циклу (Product Life Cycle Cost – LCC).

Розвиток ринкових відносин ставить перед залізницями завдання більш широкого використання економічного показника LCC як одного з основних критеріїв при оцінюванні та ухваленні рішень інвестиційного характеру на довгостроковий період [1–6].

Мета статті – виклад теоретичних положень оцінювання життєвого циклу тепловоза після модернізації його вузлів та агрегатів на основі показника LCC.

Основний текст статті. Спираючись на роботи вітчизняних [1, 4, 5] та зарубіжних авторів [7–11], прийmemo такі припущення модернізації тепловоза:

1. Модернізації підлягають вузли та агрегати тепловоза найменування 1, 2...n.
2. Модернізація вузлів та агрегатів тепловоза *i*-го найменування здійснюється одночасно на момент часу t_m .
3. Життєвий цикл вузлів та агрегатів *j*-го найменування, які не підлягають модернізації, однаковий як для модернізованого, так і для немодернізованого тепловоза.

4. Ліквідація модернізованого тепловоза передбачає одночасну утилізацію всіх вузлів та агрегатів на момент часу t_k .

Вартість життєвого циклу модернізованого тепловоза, за різними оцінками [2, 3, 6, 12–15], складається з вартості життєвих циклів окремого вузла та агрегату i -го найменування, що підлягає модернізації LCC_i^M , та j -го найменування, що не підлягає такому LCC_j^{HM} , і визначається за формулою

$$LCC_M = \sum_{i=1}^{i=n} LCC_i^M + \sum_{j=1}^{j=m} LCC_j^{HM}. \quad (1)$$

$$LCC_1^M = \Pi_{1t_M}^M \cdot \alpha_{t_M} + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (K_{1t}^{суп} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (\Pi_{1t}^{KP_M} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (I_{1t}^M \cdot \alpha_t) - L_1^M \cdot \alpha_{t_k}, \quad (3)$$

$$LCC_2^M = \Pi_{2t_M}^M \cdot \alpha_{t_M} + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (K_{2t}^{суп} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (\Pi_{2t}^{KP_M} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (I_{2t}^M \cdot \alpha_t) - L_2^M \cdot \alpha_{t_k}, \quad (4)$$

$$LCC_n^M = \Pi_{nt_M}^M \cdot \alpha_{t_M} + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (K_{nt}^{суп} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (\Pi_{nt}^{KP_M} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} (I_{nt}^M \cdot \alpha_t) - L_n^M \cdot \alpha_{t_k}, \quad (5)$$

де $\Pi_{1t_M}^M$, $\Pi_{2t_M}^M$, $\Pi_{nt_M}^M$ – ціна модернізації окремого вузла та агрегату тепловоза відповідно, найменування 1, 2...n на момент часу t_M , грн.; $K_{1t}^{суп}$, $K_{2t}^{суп}$, $K_{nt}^{суп}$ – одноразові супутні витрати, що пов'язані із втіленням окремого модернізованого вузла та агрегату тепловоза відповідно, найменування 1, 2...n в рік t життєвого циклу, грн.; $\Pi_{1t}^{KP_M}$, $\Pi_{2t}^{KP_M}$, $\Pi_{nt}^{KP_M}$ – ціна капітального ремонту окремого модернізованого вузла та агрегату тепловоза відповідно, найменування 1, 2...n в рік t життєвого циклу, грн.; I_{1t}^M , I_{2t}^M , I_{nt}^M – поточні витрати на ек-

Загальна вартість життєвих циклів вузлів та агрегатів, що підлягають модернізації, визначається за формулою

$$\sum_{i=1}^{i=n} LCC_i^M = LCC_1^M + LCC_2^M + \dots + LCC_n^M, \quad (2)$$

де $LCC_1^M, LCC_2^M, LCC_n^M$ – вартість життєвого циклу окремого вузла та агрегату тепловоза відповідно, найменування 1, 2...n, що підлягає модернізації, грн.

Вартість життєвого циклу окремого вузла та агрегату тепловоза найменування 1, 2...n, що підлягає модернізації, визначається за формулами:

плуатацію та утримання в технічно справному стані окремого модернізованого вузла та агрегату тепловоза відповідно, найменування 1, 2...n в рік t життєвого циклу, грн.; L_1^M , L_2^M , L_n^M – ліквідаційна вартість окремого модернізованого вузла та агрегату тепловоза відповідно, найменування 1, 2...n в рік ліквідації, грн.; α_t – коефіцієнт дисконтування; t_k – рік ліквідації тепловоза.

Загальна вартість життєвого циклу вузлів та агрегатів, які не підлягають модернізації, визначається за формулою

$$\sum_{j=1}^{j=m} LCC_j^{HM} = \sum_{t=t_M}^{t=t_k} \sum_{j=1}^{j=m} (\Pi_{jt}^{KP_{HM}} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_k} \sum_{j=1}^{j=m} (I_{jt}^{HM} \cdot \alpha_t) - \sum_{j=1}^{j=m} (L_j^{HM} \cdot \alpha_{t_k}), \quad (6)$$

де $\Pi_{іншт_t}^{KP_{HM}}$ – ціна капітального ремонту інших вузлів та агрегатів тепловоза в рік t життєвого циклу, які не підлягають модернізації, грн.; $I_{іншт_t}^{HM}$ – поточні витрати на експлуатацію та утримання в технічно справному стані інших

вузлів та агрегатів тепловоза в рік t життєвого циклу, які не підлягають модернізації, грн.;

$L_{іншт}^{HM}$ – ліквідаційна вартість інших вузлів та агрегатів в рік ліквідації тепловоза, грн.

Підставляючи вирази (3), (4), (5), (6) в формулу (1), отримуємо

$$\begin{aligned}
LCC_M = & \sum_{i=1}^{i=n} (\Pi_{i_t}^M \cdot \alpha_{t_M}) + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{i=1}^{i=n} (K_{i_t}^{суп} \cdot \alpha_t) + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{i=1}^{i=n} (\Pi_{i_t}^{KP_M} \cdot \alpha_t) + \\
& + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{i=1}^{i=n} (I_{i_t}^M \cdot \alpha_t) - \sum_{i=1}^{i=n} (Л_i^M \cdot \alpha_{t_K}) + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{j=1}^{j=m} (\Pi_{j_t}^{KP_{HM}} \cdot \alpha_t) + \\
& + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{j=1}^{j=m} (I_{j_t}^{HM} \cdot \alpha_t) - \sum_{j=1}^{j=m} (Л_j^{HM} \cdot \alpha_{t_K})
\end{aligned} \tag{7}$$

або

$$\begin{aligned}
LCC_M = & \sum_{i=1}^{i=n} (\Pi_{i_t}^M \cdot \alpha_{t_M}) + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{i=1}^{i=n} (K_{i_t}^{суп} \cdot \alpha_t) + \\
& + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} ((\sum_{i=1}^{i=n} \Pi_{i_t}^{KP_M} + \sum_{j=1}^{j=m} \Pi_{j_t}^{KP_{HM}}) \cdot \alpha_t) + \\
& + \sum_{t=t_M}^{t=t_K} ((\sum_{i=1}^{i=n} I_{i_t}^M + \sum_{j=1}^{j=m} I_{j_t}^{HM}) \cdot \alpha_t) - (\sum_{i=1}^{i=n} Л_i^M + \sum_{j=1}^{j=m} Л_j^{HM}) \cdot \alpha_{t_K}
\end{aligned} \tag{8}$$

Очевидно перший доданок у формулах являє собою одноразові витрати на модернізацію тепловоза, другий доданок – супутні одноразові витрати, що пов'язані із втіленням модернізованого тепловоза за життєвий цикл, третій доданок – витрати на капітальні ремонти модернізованого тепловоза за жит-

тєвий цикл, четвертий доданок – поточні витрати на експлуатацію та утримання в технічно справному стані модернізованого тепловоза за життєвий цикл, п'ятий доданок – ліквідаційну вартість модернізованого тепловоза у рік списання.

Позначимо:

$$K_M^I = \sum_{i=1}^{i=n} (\Pi_{i_t}^M \cdot \alpha_t), \tag{9}$$

$$K_{суп}^{II} = \sum_{t=t_M}^{t=t_K} \sum_{i=1}^{i=n} (K_{i_t}^{суп} \cdot \alpha_t), \tag{10}$$

$$K_{KP}^{II} = \sum_{t=t_M}^{t=t_K} ((\sum_{i=1}^{i=n} \Pi_{i_t}^{KP_M} + \sum_{j=1}^{j=m} \Pi_{j_t}^{KP_{HM}}) \cdot \alpha_t), \tag{11}$$

$$I^{II} = \sum_{t=t_M}^{t=t_K} ((\sum_{i=1}^{i=n} I_{i_t}^M + \sum_{j=1}^{j=m} I_{j_t}^{HM}) \cdot \alpha_t), \tag{12}$$

$$Л^{III} = (\sum_{i=1}^{i=n} Л_i^M + \sum_{j=1}^{j=m} Л_j^{HM}) \cdot \alpha_{t_K}, \tag{13}$$

де I – етап модернізації тепловоза;

II – етап експлуатації модернізованого тепловоза;

III – етап ліквідації модернізованого тепловоза;

t_M – рік модернізації тепловоза;

t_K – рік завершення експлуатації модернізованого тепловоза.

З урахуванням виразів (9)–(13) формула (8) набуває вигляду

$$LCC_M = K_M^I + K_{суп}^{II} + K_{KP}^{II} + I^{II} - Л^{III}. \tag{14}$$

Етапи та складові вартості життєвого циклу модернізованого тепловоза, що увійшли до формули (14), відобразимо у вигляді схеми, яку наведено на рис. 1.

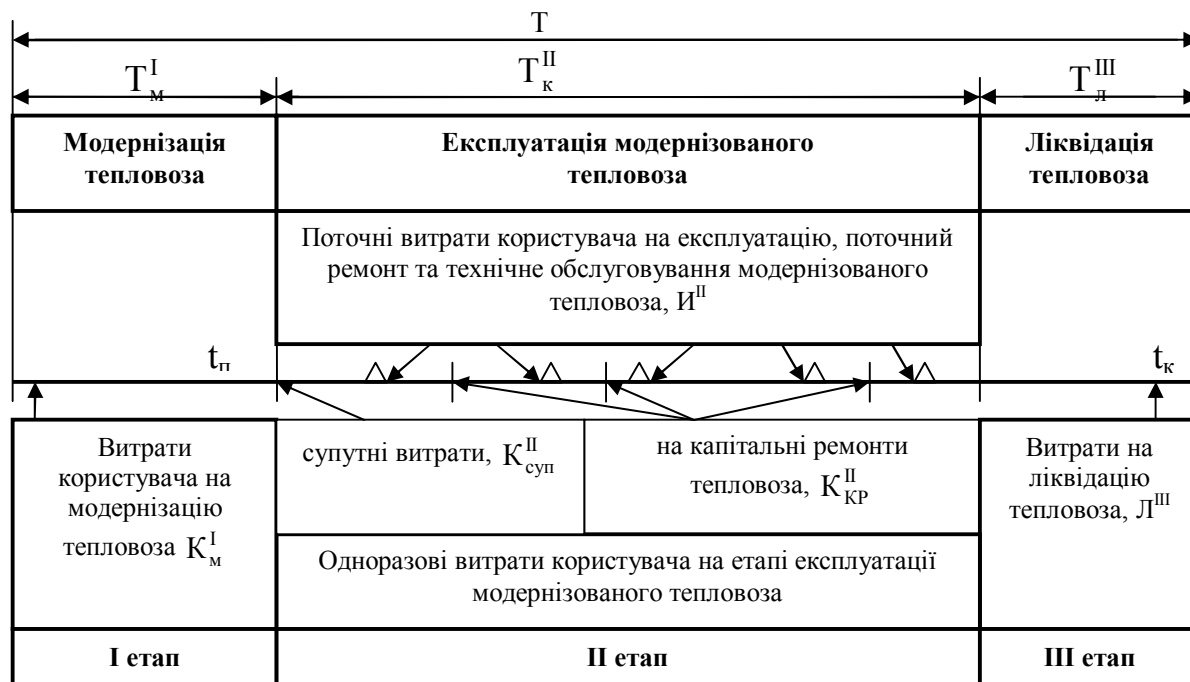


Рис. 1. Етапи та складові вартості життєвого циклу модернізованого тепловоза

Вищенаведені показники вартості життєвого циклу модернізованого тепловоза зведемо до табл. 1.

Таблиця 1.

Показники життєвого циклу модернізованого тепловоза (без урахування дисконтування)

Найменування показника t_m	Найменування вузла та агрегату, що підлягає модернізації			Інші j-і вузли та агрегати	Разом
	1	2	n		
Тривалість життєвого циклу, років	T	T	T	T	-
Витрати на модернізацію тепловоза, грн.	$C_{1t_m}^M$	$C_{2t_m}^M$	$C_{nt_m}^M$	-	K_M^I
Супутні витрати на модернізацію тепловоза за життєвий цикл, грн.	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} K_{1t}^{cyp}$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} K_{2t}^{cyp}$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} K_{nt}^{cyp}$	-	K_{cyp}^{II}
Витрати на капітальні ремонти модернізованого тепловоза за життєвий цикл, грн.	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} C_{1t}^{KP_M}$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} C_{2t}^{KP_M}$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} C_{nt}^{KP_M}$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} \sum_{j=1}^{j=m} C_{jt}^{KP_{HM}}$	K_{KP}^{II}
Поточні витрати на експлуатацію та утримання в технічно справному стані модернізованого тепловоза за життєвий цикл, грн.	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} I_{1t}^M$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} I_{2t}^M$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} I_{nt}^M$	$\sum_{t=t_п}^{t=t_к} \sum_{j=1}^{j=m} I_{jt}^{HM}$	I^{II}
Ліквідаційна вартість тепловоза у рік списання, грн.	L_1^M	L_2^M	L_n^M	$\sum_{j=1}^{j=m} L_j^{HM}$	L^{III}
Вартість життєвого циклу модернізованого тепловоза, грн.	LCC_1	LCC_2	LCC_n	$\sum_{j=1}^{j=m} LCC_j^{HM}$	LCC_M

В табл. 1 t_n – рік початку експлуатації модернізованого тепловоза.

Висновки. Таким чином, в умовах ринкових відносин і обмеження інвестицій проблема оновлення тягового рухомого складу залізниць України за рахунок його модернізації вимагає системного, програмного підходу шляхом проведення злагодженої політики між ученими, виробниками і експлуатаційниками. Методологічною основою аналізу і регулювання аспектів техніко-економічної ефективності оновлення тепловозного парку залізниць України за рахунок його модернізації повинна бути концепція життєвого циклу з урахуванням виду експлуатаційної роботи, що ним буде виконуватися.

Список літератури

1. Павлов Л. Н. Концепция стоимости жизненного цикла как инструмент взаимодействия поставщиков и потребителей в условиях рыночной экономики в Европе / Л. Н. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С. 75–77.
2. Иванова Н. Г. Применение методики расчета стоимости жизненного цикла при оценке эффективности инноваций на железнодорожном транспорте / Н. Г. Иванова // Локомотив-информ. – 2007. – № 8. – С. 12–15.
3. Иванова Н. Г. Применение показателя стоимости жизненного цикла при оценке эффективности новых локомотивов / Н. Г. Иванова // Бюллетень транспортной информации. – 2007. – № 1. – С. 21–25.
4. Методы оценки жизненного цикла подвижного состава железных дорог : монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. – Л. : Ноулидж, 2011. – 174 с.
5. Калабухин Ю. С. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу / Ю. С. Калабухин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – С. 221–225.
6. Калабухин Ю. С. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу / Ю. С. Калабухин, Е. Д. Тартаковський // Збірник наукових праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 106.
7. Allocation of train units to passenger trains / E. J. W. Abbink, B. W. V. van den Berg, L. G. Kroon, M. Salomon. Transportation Science. – 2004. – 38 (1). – P. 33–41.
8. Ahuja R. K. Network flow - theory, algorithms, and applications / R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
9. Schedule optimization at SNCF: from conception to day of departure / N. Ben-Khedher, J. Kintanar, C. Queille, W. Strippling. – Interfaces. – 1998. – 28. – P. 6–23.
10. Cordeau J. F. A benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem / J. F. Cordeau, F. Soumis, J. Desrosiers. – Transportation Science. – 2000. – 34. – P. 133–149.
11. Cordeau J. F. Simultaneous assignment of locomotives and cars to passenger trains / J. F. Cordeau, F. Soumis, J. Desrosiers. Operations Research. – 2001. – 49. – P. 531–548.
12. Kroon L. G. Routing trains through railway stations: complexity issues / L. G. Kroon, H. E. Romeijn, P. J. Zwaneveld. European Journal of Operational Research. – 1999. – 98. – P. 485–498.
13. Operational car assignment at VIA rail Canada / N. Lingaya, J. F. Cordeau, G. Desaulniers et al. Transportation Research B. – 2002. – 36. – P. 755–778.
14. McBride R. D. Advances in solving the multi-commodity-flow problem / R. D. McBride. – Interfaces. – 1998. – 28. – P. 32–41.
15. Schrijver A. Minimum circulation of railway stock / A. Schrijver. – CWI Quarterly. – 1993. – 6. – P. 247–258.

References

1. Pavlov, L. N. (2006) The concept of life cycle cost as an instrument of interaction of suppliers and consumers in market economy conditions in Europe. *Zheleznodorozhnyy transport*, (9), pp. 75–77 [in Russian].
2. Ivanova, N. G. (2007) The application of the method for calculation of life cycle cost when evaluating innovation efficiency on railway transport. *Lokomotiv-inform*, (8), pp. 12–15 [in Russian].
3. Ivanova, N. G. (2007) The application of the index of life cycle cost when evaluating the efficiency of new locomotives. *Byulleten transportnoy informatsii*, (1), pp. 21–25 [in Russian].

4. Tartakovskiy, E. D., Grischenko, S. G., Kalabuhin, Yu. E. and Falendyish, A. P. (2011) The methods for evaluation of life cycle of railway vehicles. L.: Noulidzh, 174 p. [in Russian].
5. Kalabukhin, Yu. Ye. (2008) Theoretical regulations for the determination of life cycle cost of traction rolling stock. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akad. V. Lazariana*, (24), pp. 221–225 [in Ukrainian].
6. Kalabukhin, Yu. Ye. and Tartakovskiy, E. D. (2009) Theoretical regulations for the renovation of traction rolling stock taking into account life cycle. *Zbirnyk naukovykh prats. Kharkiv: UkrDAZT*, (111), p. 106 [in Ukrainian].
7. Abbink, E. J. W., van den Berg, B. W. V., Kroon, L. G. and Salomon, M. (2004) Allocation of train units to passenger trains. *Transportation Science*, 38 (1), pp. 33–41.
8. Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. and Orlin, J. B. (1993) Network flow - theory, algorithms, and applications. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
9. Ben-Khedher, N., Kintanar, J., Queille, C. and Stripling, W. (1998) Schedule optimization at SNCF: from conception to day of departure. *Interfaces*, (28), pp. 6–23.
10. Cordeau, J. F., Soumis, F. and Desrosiers, J. (2000) A benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem. *Transportation Science*, (34), pp. 133–149.
11. Cordeau, J. F., Soumis, F. and Desrosiers, J. (2001) Simultaneous assignment of locomotives and cars to passenger trains. *Operations Research*, (49), pp. 531–548.
12. Kroon, L. G., Romeijn, H. E. and Zwaneveld, P. J. (1999) Routing trains through railway stations: complexity issues. *European Journal of Operational Research*, (98), pp. 485–498.
13. Lingaya, N., Cordeau, J. F., Desaulniers, G. et al. (2002) Operational car assignment at VIA rail Canada. *Transportation Research B*, (36), pp. 755–778.
14. McBride, R. D. (1998) Advances in solving the multi-commodity-flow problem. *Interfaces*, (28), pp. 32–41.
15. Schrijver, A. (1993) Minimum circulation of railway stock. *CWI Quarterly*, (6), pp. 247–258.

O V. Rutkovsky, lecturer

Odesa college of transport technologies
Oleksiiivska square, 17, Odesa, 65029, Ukraine
otzt@rambler.ru

THEORETICAL REGULATIONS FOR LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF LOCOMOTIVE MODERNIZATION

Actual scientific and technical problem of comprehensive renovation of railway rolling stock of Ukraine is considered. The analysis of age state of locomotives which serve freight, passenger and shunting movement indicates on the necessity of their major renovation both through the acquisition of new samples and the upgrading of existing traction units.

On the basis of analytical study it is shown that the second upgrade allows to extend the term of life of diesel locomotives by upgrading individual components and assemblies with much less capital cost than purchasing of new equipment. This approach is particularly attractive in the conditions of investment restrictions for railways of Ukraine.

Also theoretical principles of the assessment of a locomotive life cycle after upgrading of its units and aggregates based on LCC (life cycle cost) index are described. In future, this index may be used for technical and economic substantiation of upgrade options in modern conditions of the development of traction rolling stock of railways of Ukraine.

Keywords: rolling stock, life cycle, modernization (renovation) of units and aggregates, technical and economic indices for traction unit use, index of life cycle cost.

Рецензенти: В. В. Палагін, д.т.н., професор,
С. А. Положаєнко, д.т.н., професор.