

УДК 621.313.53

*Олександр Бабанін, д. т. н.
(професор кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,
Український державний університет залізничного транспорту)*

*Аліна Сиротенко
(магістр кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»,
Український державний університет залізничного транспорту)*

ДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

У статті розглянута методика оцінки економічної ефективності застосування сервісного обслуговування магістральних тепловозів. Для здійснення розрахунків щодо визначення витрат на експлуатацію локомотивів запропоновані рекурентні залежності, які враховують імовірнісний характер безвідмовної роботи тепловозів. Наведений приклад розрахунку з визначенням економічного ефекту для прийнятого умовного парку тепловозів.

***Ключові слова:** витрати, ефективність, ймовірність, обслуговування, оцінка, сервіс, тепловоз, трудомісткість.*

Вступ. Як свідчить світовий досвід, стратегічний підхід до розвитку виробничих підприємств забезпечує їх високу ефективність. Це особливо характерне в умовах динамічних змін, коли рівень невизначеності економічних і соціальних явищ дуже високий [1]. Саме такі умови на дійсний час склалися на Україні [3]. Тому особливо важливими чинниками у локомотивному господарстві, зміна яких може бути підставою для реструктуризації підприємств, є впровадження нової організаційної структури управління на основі сервісного обслуговування. Якісно оцінити ці зміни можна тільки за допомогою прогресивних методів і моделей.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. На даний час існує велика кількість досліджень, щодо широкого впровадження обсягів послуг виробничого характеру. Подібне переорієнтування обумовлене важливими змінами на світовому ринку [2]. Ці дослідження визначають, що у сфері промислового виробництва намітилася чітка тенденція до прийняття на себе функцій послуг, щоб одержати додаткову вигоду при освоєнні нових ринків. Спостерігається своєрідний процес зрощування виробництва із сервісом [4,10]. Значні промислові клієнти очікують розширення постачання стандартних

© Бабанін О.Б., Сиротенко А.О., 2018

пакетів послуг високої якості як додаток до закуплених ними машин і устаткування. Крім того, із зростанням складності систем і обладнання локомотивів збільшується потреба в комплексному вирішенні технічних проблем, які пов'язані з підготовкою обслуговуючого персоналу, надання допомоги в управлінні тощо. Це, у свою чергу, потребує підвищення рівня різного виду сервісних послуг [4].

Необхідно відмітити, що такі підходи потребують створення відповідних методичних матеріалів, на основі яких повинні визначатися основні показники ефективності впровадження сервісного обслуговування з використанням сучасного математичного апарату. Вони, разом з цим, повинні обов'язково урахувати технічний стан тягового рухомого складу, а також зміну його основних характеристик під час експлуатації. Це все взагалі обумовлює актуальність і своєчасність таких розробок.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є викладення методики оцінки ефективності впровадження сервісного технічного обслуговування магістральних тепловозів, на основі визначення показників їх надійності.

Матеріали та методи дослідження. В основу розрахунку економічної ефективності сервісного обслуговування тепловозів у даній роботі покладений розрахунок питомих витрат на контроль технічного стану (як усього тепловоза в цілому, так і його окремих вузлів), питомих витрат на технічне обслуговування ТО-2 і непланові ремонти, а також часу простою на цих видах.

Для цього співробітниками кафедри ЕРПС УкрДУЗТ був зібраний статистичний матеріал і складені функції, які характеризують залежність витрат від пробігу між проведенням сервісного технічного обслуговування тепловоза або його елементів.

Функцію витрат на організацію й проведення існуючого технічного обслуговування запропоновано визначати, як

$$C_1(L) = \frac{C_{ТО}P_c(L) + C_{НР}P_a(L) + D[t_{ТО}P_c(L) + t_{НР}P_a(L)]}{L} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $C_{ТО}$ – витрати на проведення технічного обслуговування, грн;

$C_{НР}$ – витрати на виконання непланових ремонтів під час проведення технічного обслуговування, грн;

D – питомий чистий прибуток, принесений тепловозом за 1 годину його експлуатації, грн/год;

$t_{ТО}$ – час на проведення технічного обслуговування, год.;

$t_{НР}$ – час на додаткові операції при неплановому ремонті, год.;

$P_a(L)$, $P_c(L)$ – відповідно поточні складові ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови, які визначаються за рекурентними виразами.

Функцію витрат на організацію й проведення сервісного технічного обслуговування запропоновано визначати, як

$$C_2(L) = \frac{k_{\text{труд}}^{\text{серв}} \{C'_{ТО}P_c(L) + C_{НР}P_a(L) + D[t'_{ТО}P_c(L) + t_{НР}P_a(L)]\}}{L} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де C'_{TO} – витрати на проведення сервісного технічного обслуговування, грн;

t'_{TO} – час на проведення сервісного технічного обслуговування, год.;

$k_{труд}^{серв}$ – коефіцієнт відносної трудомісткості сервісного обслуговування.

Питомий чистий прибуток D , принесений тепловозом за 1 годину його експлуатації, грн/год., запропоновано визначати, як

$$D = \frac{C_n A_{лок}}{T_{лок}}, \quad (3)$$

де C_n – собівартість перевезень, грн/10⁶ т км бр;

$A_{лок}$ – робота, виконана тепловозами за рік, т км бр;

$T_{лок}$ – час корисної роботи тепловозів за рік, год.

Роботу, виконану тепловозами за рік, т.км.бр., можна визначити з виразу:

$$A_{лок} = \sum^n 2LQ_{cp} n, \quad (4)$$

де L – довжина ділянки обертання, км;

Q_{cp} – середня маса поїзда на даній ділянці обертання, т;

n – кількість пар поїздів.

Згідно [6] залежність імовірності безвідмовної роботи тепловоза прийнята за таким виразом:

$$P(L) = e^{-\lambda L}, \quad (5)$$

де λ – інтенсивність відмов.

Складові ймовірності безвідмовної роботи $P_a(L)$ й імовірності відмови $P_c(L)$ можна визначити на основі ймовірності безвідмовної роботи тепловоза (5) між проведенням технічних обслуговувань.

Складову $P_a(L)$ для поточних значень пробігу тепловоза L між проведенням циклів технічних обслуговувань запропоновано визначати, як

$$P_a(L) = \sum \bar{P}_a(L_i). \quad (6)$$

Запропоновано значення $\bar{P}_a(L_i)$ обчислювати за кількістю циклів технічних обслуговувань ТО-2 між проведенням ТО-3 (або за кількістю циклів технічних обслуговувань ТО-3 між проведенням поточних ремонтів ТР-1) за такими рекурентними залежностями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_a(L_1) = P(L_1) \\ \bar{P}_a(L_2) = \bar{P}_a(L_1)P(L_1) + P(L_2)[1 - P(L_1)]; \\ \bar{P}_a(L_3) = \bar{P}_a(L_2)P(L_1) + P(L_2)\bar{P}_a(L_1)[1 - P(L_1)] + P(L_3)[1 - P(L_1)][1 - P(L_2)]; \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \bar{P}_a(L_n) = \bar{P}_a(L_{n-1})P(L_1) + P(L_2)\bar{P}_a(L_{n-2})[1 - P(L_1)] + P(L_3)\bar{P}_a(L_{n-3})[1 - P(L_1)] + \\ + P(L_{n-1})\bar{P}_a(L_1)[1 - P(L_1)]\dots[1 - P(L_{n-2})] + P(L_n)[1 - P(L_1)]\dots[1 - P(L_{n-1})] \end{array} \right. \quad (7)$$

Складові $\bar{P}_c(L_i)$ теж запропоновано розраховувати за кількістю циклів технічних обслуговувань ТО-2 між проведенням ТО-3 (або за кількістю циклів технічних обслуговувань ТО-3 між проведенням поточних ремонтів ТР-1) за рекурентними залежностями

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_c(L_1) = 1 - P(L_1); \\ \bar{P}_c(L_2) = \bar{P}_c(L_1)[1 - P(L_2)]; \\ \bar{P}_c(L_3) = \bar{P}_c(L_2)[1 - P(L_3)]; \\ \bar{P}_c(L_4) = \bar{P}_c(L_3)[1 - P(L_4)]; \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \bar{P}_c(L_n) = \bar{P}_c(L_{n-1})[1 - P(L_n)] \end{array} \right. \quad (8)$$

Для розрахунку коефіцієнта трудомісткості сервісного обслуговування в опорних локомотивних депо Південної залізниці була зібрана статистична інформація з існуючої трудомісткості на ТО-2. У результаті обробки зібраної інформації та її проведеної апроксимації була отримана залежність відносної трудомісткості $\bar{T}_{\text{труд}}(L)$ від пробігу L між ТО-2:

$$\bar{T}_{\text{труд}}(L) = 3,08 \left(1 - 0,95 e^{-0,035L} \right). \quad (9)$$

В результаті проведених досліджень і з урахуванням запропонованих організаційно-технічних заходів була спрогнозована відносна трудомісткість сервісного технічного обслуговування ТО-2 та отримана наступна залежність

$$\bar{T}_{\text{труд}}^{\text{серв}}(L) = 0,00065 L^3 e^{-0,075L} + 0,0095 L. \quad (10)$$

Графічні залежності відносної трудомісткості на ТО-2 наведені на рис. 1.

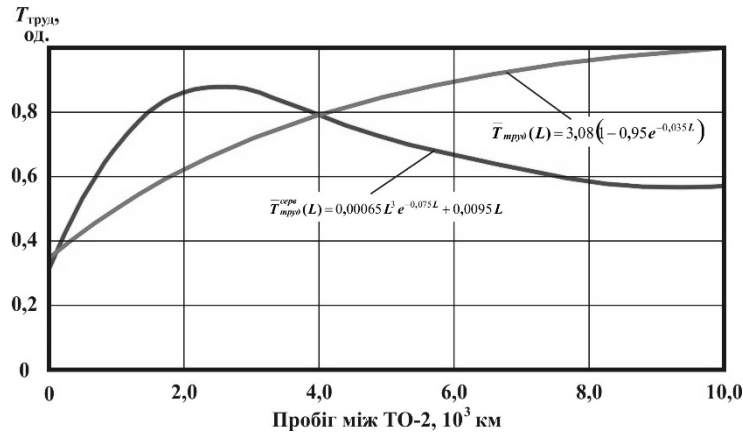


Рис. 1. Зміна відносної грудомісткості виконання ТО-2 залежно від пробігу L

На основі отриманих даних був визначений коефіцієнт сервісного технічного обслуговування ТО-2, який запропоновано визначати, як

$$k_{труд}^{серв} = \frac{\bar{T}_{труд}^{серв}}{\bar{T}_{труд}}. \quad (11)$$

В результаті розрахунку функцій (1) і (2) також були отримані залежності та визначені їх оптимальні значення:

– для функції витрат на організацію і проведення існуючого технічного обслуговування ТО-2:

$$C_1(L) = 0,045L^3 - 0,03L^2 - 0,21L + 0,258; \quad (12)$$

– для функції витрат на організацію і проведення сервісного технічного обслуговування ТО-2:

$$C_2(L) = -0,03L^3 + 0,21L^2 - 0,33L + 0,25. \quad (13)$$

Беручи від виразів (12) і (13) похідні, дорівнюючи їх нулю та вирішуючи рівняння були отримані оптимальні значення питомих витрат за кожним варіантом.

Для існуючого технічного обслуговування ТО-2 оптимальні значення питомих витрат склали $C_1^{opt}(L) = 0,1$ грн/км. Звідки пробіг теплового визначився як $L_1^{opt} = 3 \cdot 10^3$ км.

Для сервісного технічного обслуговування ТО-2 питомі витрати склали $C_2^{opt}(L) = 0,028$ грн/км. Звідки знаходимо, що $L_1^{opt} = 3,46 \cdot 10^3$ км.

Графічні залежності зміни цільових функцій питомих витрат $C_1(L)$ і $C_2(L)$ залежно від пробігу L між ТО-2 наведені на рис. 2.

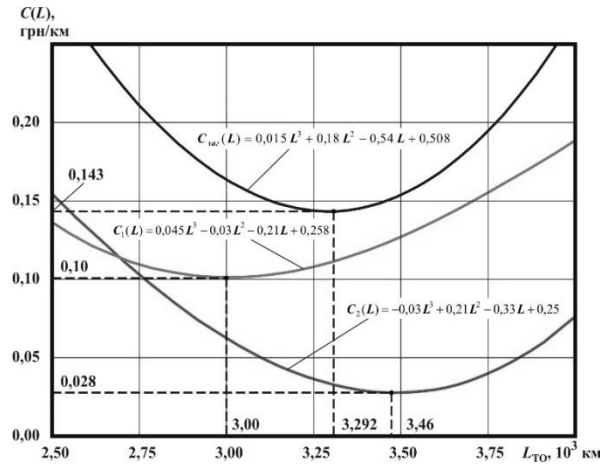


Рис. 2. Динаміка цільових функцій $C_1(L)$ і $C_2(L)$

Для визначення економічної ефективності сервісного технічного обслуговування ТО-2 на підставі проведеного моделювання були прийняті чотири умовні ділянки обертання тепловозів, характеристики яких наведені в табл. 1.

На підставі проведених розрахунків було визначено, що різниця між отриманими оптимальними значеннями функцій $C_1(L)$ і $C_2(L)$ буде складати

$$\Delta C^{opt}(L) = C_1^{opt}(L) - C_2^{opt}(L). \quad (14)$$

Таблиця 1

Характеристики умовних ділянок обертання локомотивів

Умовні ділянки обертання тепловозів	Довжина ділянки, L , км	Кількість пар поїздів за добу, n
Ділянка А-Б	160	6
Ділянка А-В	91	4
Ділянка А-Г	85	4
Ділянка А-Д	56	2

Підставляючи у вираз (14) числові значення будемо мати

$$\Delta C^{opt}(L) = 0,1 - 0,028 = 0,072 \text{ грн/км.}$$

Річний пробіг умовного парку магістральних тепловозів $MS_{річ}$ визначався за формулою [6]:

$$MS_{річ} = \left(\sum 2L_{oil}^i n^i \right) 365, \quad (15)$$

де L_{dil}^i – довжина i -ї ділянки обертання, км;

n^i – кількість пар поїздів за добу.

Враховуючі дані, які наведені в табл. 1 вираз (15) запишеться, як

$$MS_{pч} = (2L_1n_1 + 2L_2n_2 + 2L_3n_3 + 2L_4n_4) 365. \quad (16)$$

Підставляючи у цей вираз числові значення будемо мати:

$$MS_{pч} = (2 \times 160 \times 6 + 2 \times 91 \times 4 + 2 \times 85 \times 4 + 2 \times 56 \times 2) 365 = 1\,296\,480 \text{ км.}$$

Економічний ефект E' , грн., на розмір річного пробігу умовного парку магістральних тепловозів запропоновано визначати, як

$$E' = MS_{pч} \cdot \Delta C^{omm}(L). \quad (17)$$

З урахуванням даних, які отримані за формулами (15) і (16) будемо мати:

$$E' = 1\,296\,480 \cdot 0,072 = 93\,346,56 \text{ грн.}$$

Приймаючи кількість локомотивів умовного парку $N=16$ будемо мати:

$$E = \frac{E'}{N}, \quad (18)$$

або

$$E = \frac{93\,346,56}{16} = 5\,834,16 \text{ грн.}$$

Таким чином прогнозований економічний ефект від впровадження системи сервісного технічного обслуговування ТО-2 для умовного парку магістральних тепловозів буде складати 5834,16 грн на один тепловоз за рік.

Висновки: 1. Запропоновані функції витрат на організацію й проведення існуючого технічного обслуговування ТО-2 і організацію та проведення сервісного технічного обслуговування, які враховують витрати на обслуговування, тимчасову перевірку параметрів, а також імовірність безвідмовної роботи та ймовірнісні відмови, які можна визначати за рекурентними виразами.

2. Створені аналітичні залежності відносної трудомісткості від пробігу між технічним обслуговуванням, за якими можна визначати їх прогнозні значення з урахуванням впровадження сервісних заходів.

3. На основі прикладу отримані розрахункові значення економічного ефекту від впровадження системи сервісного технічного обслуговування умовного парку магістральних тепловозів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ламкин А. Г. Начинается сервисное обслуживание локомотивов / А.Г. Ламкин // Локомотив. – 2013 – № 10. – С. 2 – 4.
2. Липа К. В. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой. – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015. – 212 с.
3. Лоза П. А. Оценка качества выполнения системы содержания парка электроподвижного состава / П.А. Лоза, Т.С. Гришечкина // Электрификация транспорту. – 2015. – №9. – С. 87 – 93.
4. Пустовой И. В. Сетевое планирование ремонта сервисных локомотивов / И.В. Пустовой, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – №7. – С. 8 – 11.
5. Пыжьянов Н. И. На пути к качественному сервисному обслуживанию локомотивного парка (отечественный и зарубежный опыт) [Электронный ресурс] / Н.И. Пыжьянов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – Т. 8. – №3 (2016). – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru>.
6. Скребков А. В. Модель оценки коэффициента готовности локомотива / А.В. Скребков, А.Г. Ламкин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 7. – С. 58 – 60.
7. Hashemian H., Bean, W. State-of-the-art predictive maintenance techniques. instrumentation and measurement, IEEE Transactions, 2014; 60(10), pp 480-492.
8. Karanikas N. Using reliability indicators to explore human factors issues in maintenance databases, International Journal of Quality & Reliability Management, 2015, 30(2), pp 116-128.
9. Sharma A, Yadava G. A literature review and future perspectives on maintenance optimization, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2014, 17(1), pp 5-25.
10. Tsang A.H. A strategic approach to managing maintenance performance, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2016, 4(2), pp 87-94.

REFERENCES

1. Lamkin A.G. (2013). Nachinaetsy servisnoe obslugivanie lokomotivov [We begin service of locomotives]. Locomotive, 10, 2-4. (In Russian).
2. Lipa K.V. (2015). Monitoring texnicheskogo sostoyniy i regimov ekspluatatsii lokomotivov [Monitoring of a technical condition and modes of operation of locomotives]. Moscow, Lokomotivnie tehnologii. (In Russian).
3. Loza P.A. (2015). Ocenka kachestva vypolneniy systemy soderganiy parka elektropodvignogo sostava [Estimation of quality of performance of system of the maintenance of an electric rolling stock]. Elektrifikaciya transporta, 9, 87-93. (In Ukrainian).
4. Pustovoy I.V. (2015). Setevoe planirovanie remonta servisnyx lokomotivov [Network planning of repair of service locomotives]. Locomotive, 7, 8-11. (In Russian).
5. Pygianov N.I. (2016). Na puti k kachestvennomu servisnomu obslygivaniy lokomotivnogo parka (otechstvenny i zarybegny opyt) [On a way to qualitative service of locomotive park (domestic and foreign experience)]. The Internet-magazine "Naukovedenie", 3. Retrieved from <http://naukovedenie.ru>. (In Russian).
6. Skrebkov A.V. (2014). Model ocenki koeficienta gotovnosti lokomotiva [Model of an estimation of factor of readiness of the locomotive]. Railway transportation, 7, 58-60. (In Russian).
7. Hashemian H., Bean, W. (2014). State-of-the-art predictive maintenance techniques. instrumentation and measurement. IEEE Transactions, 60(10), 480-492.
8. Karanikas N. (2015). Using reliability indicators to explore human factors issues in maintenance databases. International Journal of Quality & Reliability Management, 30(2), 116-128.
9. Sharma A, Yadava G. (2014). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 17(1), 5-25.
10. Tsang A.H. (2016). A strategic approach to managing maintenance performance. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 4(2), 87-94.

Александр Бабанин, д. т. н.
(профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»,
Украинский государственный университет железнодорожного
транспорта);

Алина Сиротенко
(магистр кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава»,
Украинский государственный университет железнодорожного
транспорта)

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЗОВ

В статье рассмотрена методика оценки экономической эффективности применения сервисного обслуживания магистральных тепловозов.

Для проведения расчетов по определению затрат на эксплуатацию локомотивов предложены рекуррентные зависимости, которые учитывают вероятностный характер безотказной работы тепловозов. Приведен пример расчета с определением экономического эффекта для принятого условного парка тепловозов.

Ключевые слова: *затраты, эффективность, вероятность, обслуживание, оценка, сервис, тепловоз, трудоемкость.*

Oleksandr Babanin,
(The professor of department «Operation and repair of a rolling stock»,
the Ukrainian state university of a railway transportation)

Alina Sirotenko,
(The master of department «Operation and repair of a rolling stock», the Ukrainian
state university of a railway transportation)

TO AN ESTIMATION OF EFFICIENCY OF SERVICE OF THE MAIN DIESEL LOCOMOTIVES

In paper the technique of an estimation of economic efficiency of application of service of the main diesel locomotives is considered. Last researches on the given problem are analyzed. It is certain, that the given approach demands creation of essentially new methodical maintenance. Statistical data on real expenses for maintenance service and repair of diesel locomotives which have formed the basis for development of a special technique are collected. On the basis of the offered recurrent dependences in view of parameters of reliability of diesel locomotives in operation functions of relative expenses on labours input on maintenance service are certain. Thus likelihood variants, both in view of service and without it, were modeled. On the basis of it graphic dependences of relative labors expenses for maintenance service and criterion functions of their specific components depending on size of run of diesel locomotives are received. The offered technique calculation allows to define economic benefit for the accepted conditional park of diesel locomotives.

Keywords: *expenses, efficiency, probability, service, an estimation, ,a diesel locomotive, labour input.*