

УДК 621.313.53: 629.113.014.9

*Д-р техн. наук О.Б. Бабанін,  
магістр О.Л. Кохан*

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ СЕРВІСНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ**

**Вступ.** Рухомий склад залізниць України дуже застарів не тільки фізично, але й морально. Усі типи магістральних тепловозів вимагають високих витрат на обслуговування й ремонт, вони

споживають більшу кількість палива, ніж техніка нового покоління, яка використовує вузли й системи, зроблені за сучасними технологіями. У значній мірі поліпшити таке становище дозволить широке

впровадження сервісного (фірмового) технічного обслуговування (ТО) тепловозів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** За останній час в Україні й країнах СНД проведений цілий ряд досліджень із розробленням перспективних напрямків по підвищенню ефективності роботи локомотивного господарства [1,2,4,5]. Вони насамперед пов'язані із широкою модернізацією вузлів і деталей тепловозів, яким продовжений термін служби, впровадженням прогресивних технологій, а також подальшим розвитком локомотивного господарства в цілому. У той же час у цих розробках недостатньо приділена увага такій прогресивній формі, як організація сервісного ТО тепловозів.

**Метою статті** є дослідження з визначення якісної оцінки сервісного ТО тепловозів, який дозволяє реалізувати високоефективні ресурсо- і енергозберігаючі технології.

На якість проведення сервісного ТО впливає цілий ряд об'єктивних факторів. У першу чергу до їхнього числа необхідно віднести дотримання вимог технології, широке впровадження методів і засобів контролю якості, прогресивну організацію експлуатації локомотивів, технічний рівень виробничої бази, своєчасність і якість матеріалів і запасних частин. Крім того, значний вплив на якість проведення технологічних операцій має "людський фактор", який полягає в професійній майстерності й загальноосвітньому рівні працівників, їхній зацікавленості в роботі, дисциплінованості і сумлінному ставленні до праці [2].

У загальному вигляді управління якістю продукції являє собою комплекс заходів організаційного, технічного, економічного характеру для досягнення необхідного рівня якості, які виконуються шляхом контролю й цілеспрямованого впливу на фактори, від яких залежить якість продукції [6].

Аналіз зібраного на кафедрі ЕРРС УкрДАЗТ статистичного матеріалу в опорних локомотивних депо дозволив

установити, що ефективність виконання ТО залежить від технічного стану виробництва, тобто від якості виконуваних технологічних операцій, рівня автоматизації, організації матеріально-технічного забезпечення й професійного рівня працівників.

На підставі цього якість виконання ТО запропоновано оцінювати за допомогою коефіцієнтів рівня технології  $k_{PT}$ , коефіцієнта завантаження застосовуваного механізованого обладнання  $k_{3M}$ , коефіцієнта забезпечення запасними частинами й матеріалами  $k_{3Ч}$  й коефіцієнта рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу  $k_{PK}$ .

Коефіцієнт рівня технології запропоновано визначати як

$$k_{PT} = \frac{\sum m_i^M k_{3i}^M}{\sum m_i^P k_{3i}^P + \sum m_i^M k_{3i}^M}, \quad (1)$$

де  $m_i^M$ ,  $m_i^P$  – кількість відповідно механізованих операцій та операцій з ручною працею;  $k_{3i}^M$ ,  $k_{3i}^P$  – завантаженість відповідно механізованих операцій та операцій з ручною працею, які застосовуються в процесі проведення ТО.

Завантаженість однієї  $i$ -ї механізованої або ручної операції під час виконання ТО запропоновано визначати як

$$k_{3i}^M = \frac{t_i^M}{T_{TO}}, \quad (2)$$

$$k_{3i}^P = \frac{t_i^P}{T_{TO}}, \quad (3)$$

де  $t_i^M$ ,  $t_i^P$  – тривалість відповідно операцій, які використовують засоби механізації або автоматизації та операції з

ручною працею, год;  $T_{TO}$  - загальний час простою тепловоза на ТО, год.

Коефіцієнт забезпечення ТО запасними частинами й матеріалами запропоновано визначати як

$$k_{зч} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO}} S_{\phi_i}}{\sum_{i=1}^{N_{TO}} S_{n_i}}, \quad (4)$$

де  $S_{\phi_i}$  - загальна кількість (обсяг) запасних частин і матеріалів, які були використані в процесі проведення ТО за розглянутий період;  $S_{n_i}$  - необхідна (заявлена) кількість запасних частин і матеріалів для забезпечення ТО за цей же період;  $N_{TO}$  - загальна кількість ТО, виконаних за розглянутий період.

Коефіцієнт рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу запропоновано визначати з виразу

$$k_{PK} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO}} (r_{яв}^{4p} + r_{яв}^{5p} + r_{яв}^{6p})}{\sum_{i=1}^{N_{TO}} r_{яв}^{заг}}, \quad (5)$$

де  $r_{яв}^{4p}$ ,  $r_{яв}^{5p}$ ,  $r_{яв}^{6p}$  - відповідно явочна кількість слюсарів, які мають 4, 5 і 6 розряд

роботи при виконанні  $i$ -го ТО;  $r_{яв}^{заг}$  - загальна явочна кількість працівників, які беруть участь у  $i$ -му ТО.

Прийняті коефіцієнти можна розглядати як фактори, які безпосередньо впливають на сервісне забезпечення ТО тепловозам і представляють його у вигляді багатофакторного процесу. Такий підхід дозволяє для дослідження параметрів якості ТО застосувати багатофакторний аналіз.

Для створення моделі був використаний метод вузлових точок [8]. Відповідно до нього багатомірна функція може бути розглянута як функція, що складається з багатьох часткових одномірних функцій. Розгалуження цих функцій відбувається у вузловій точці. Вона дозволяє як би "пов'язати" одномірні (однофакторні) функції в багатофакторну модель.

Запропоновано також основний питомий параметр  $C'$ , що характеризує якість виконання ТО тепловозам (грн/км), визначати як відношення витрат на його проведення  $B_{TO}$  до величини пробігу  $MS_{TO}$  між їх проведенням, тобто

$$C'_i = \frac{\sum B_{TO_i}}{MS_{TO_{i+1}}}. \quad (6)$$

Схеми чергувань ТО залежно від пробігу  $MS_{TO}$  за видами наведені на рис. 1.

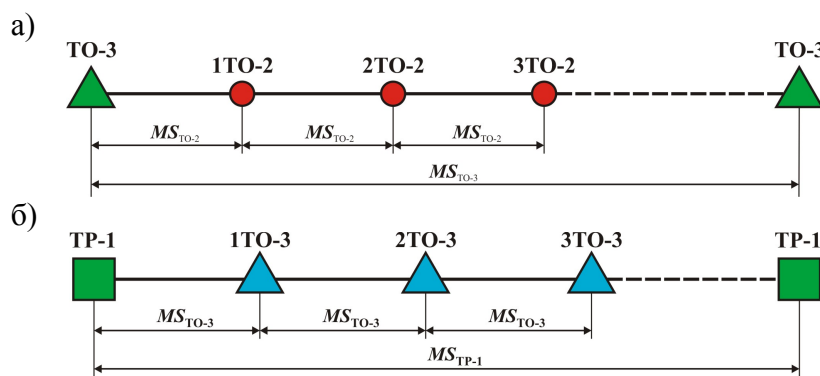


Рис. 1. Чергування видів ТО-2 (а) і ТО-3 (б) залежно від лінійного пробігу  $MS$  між ними

Виходячи з рис. 1, а показник  $C'_i$  для ТО-2 буде визначатися як

$$C'_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO-2}} B_{TO-2}}{MS_{TO-3}}, \quad (7)$$

де  $B_{TO-2}$  – витрати на проведення ТО-2 тепловозам, грн;  $MS_{TO-3}$  – загальний лінійний пробіг між проведенням ТО-3, км;  $N_{TO-2}$  – кількість ТО-2, які виконуються між проведенням ТО-3.

У свою чергу показник  $C'_i$  для ТО-3 (рис. 1б) визначиться як

$$C'_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_{TO-3}} B_{TO-3}}{MS_{TP-1}}, \quad (8)$$

де  $B_{TO-3}$  – витрати на проведення ТО-3 тепловозам, грн;  $MS_{TP-1}$  – загальний лінійний пробіг між проведенням ПР-1, км;  $N_{TO-3}$  – кількість ТЕ-3, які виконуються між проведенням ПР-1.

Багатофакторна модель якості виконання ТО тепловозам може бути подана в такому вигляді [10]:

$$C' = \frac{1}{C'_0} \prod_{i=1}^n f_i(x_i), \quad (9)$$

$$0,21 \leq k_{PT} \leq 0,46; \quad 0,08 \leq k_{3ч} \leq 0,62; \quad 0,016 \leq k_{PK} \leq 0,072.$$

У результаті апроксимації даних пасивного експерименту за програмою Statistica були отримані такі однофакторні залежності:

$$C'_1 = f(k_{PT}) = 1,082 - 3,64 k_{PT}, \quad (11)$$

де  $C'_0$  – чисельне значення відносних витрат на проведення ТО у вузловій точці;  $f_i(x_i)$  – однофакторні функції;  $n$  – число факторів.

Модель (9) значно спрощує аналіз впливу різних факторів на досліджуваний параметр, дає можливість знаходити екстремальне або бажане значення досліджуваного параметра, а також звести цю задачу до елементарного аналізу однофакторних залежностей виразу (9).

Контроль впливу всіх факторів, що визначають якість проведення ТО, практично неможливий через надмірну складність їхнього обліку. Тому для даної методики були обрані такі фактори: коефіцієнт рівня технології  $k_{PT}$ , забезпечення запасними частинами й матеріалами  $k_{3ч}$  й рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу  $k_{PK}$ .

Відповідно до прийнятих факторів і виразу (9) модель якості ТО буде мати такий вигляд:

$$C' = C'_0{}^2 f(k_{PT}) f(k_{3ч}) f(k_{PK}). \quad (10)$$

Для знаходження параметра  $C'_0$  й однофакторних залежностей, що входять у цей вираз для ТО-2 магістральних тепловозів, був проведений пасивний експеримент, у результаті якого отриманий статистичний масив. Були визначені межі цих факторів:

$$C'_2 = f(k_{3ч}) = 0,62 - 0,81 k_{3ч}, \quad (12)$$

$$C'_3 = f(k_{PK}) = 0,32 - 0,45 k_{PK}. \quad (13)$$

Чисельне значення відносних витрат на проведення ТО у вузловій точці одержані за допомогою виразу

$$C'_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} C'_i}{N_T}, \quad (14)$$

де  $C'_i$  – фактичне експериментальне значення відносних витрат на проведення

ТО, грн/км;  $N_T$  – кількість експериментальних точок статистичного масиву.

З даного виразу видно, що  $C'_0$  являє собою середнє значення відносних витрат на проведення ТО в отриманому масиві даних. У результаті обчислень за цією формулою отримане  $C'_0=0,3$ .

З урахуванням чисельного значення параметра  $C'_0$  у вузловій точці й аналітичних виразах однофакторних функцій модель (10) перетворена до вигляду

$$C' = 0,3^{-2} (1,082 - 3,64 k_{PT}) (0,62 - 0,81 k_{3Ч}) (0,32 - 0,45 k_{PK}). \quad (15)$$

На основі алгебраїчних перетворень було одержано

$$C' = a_0 + a_1 k_{PT} + a_2 k_{3Ч} + a_3 k_{PK} + a_4 k_{PT} k_{3Ч} + a_5 k_{PT} k_{PK} + a_6 k_{3Ч} k_{PK} + a_7 k_{PT} k_{3Ч} k_{PK}. \quad (16)$$

За програмою Statistica були отримані коефіцієнти даного рівняння. Коефіцієнт множинної кореляції склав  $R=0,998$ . Пере-

вірка отриманих коефіцієнтів за критерієм Стьюдента  $t$  підтвердила їхню адекватність. З урахуванням цих значень отримано

$$C' = 3,97 - 14,5 k_{PT} - 7,34 k_{3Ч} - 33,8 k_{PK} + 28,5 k_{PT} k_{3Ч} + 140,3 k_{PT} k_{PK} + 85,96 k_{3Ч} k_{PK} - 360,8 k_{PT} k_{3Ч} k_{PK}. \quad (17)$$

Високий рівень коефіцієнта множинної кореляції  $R=0,998$  свідчить також про можливість застосування в задачах визначення рівня якості проведення ТО всіх видів мультиплікативних моделей типу (9). Ранжирування факторів за цією моделлю наведено в таблиці.

Таблиця  
Ранжирування факторів  $k_{PT}$ ,  $k_{3Ч}$ ,  $k_{PK}$

Ранг	Фактори	$dC'/dk_i$
1	$k_{PT}$	3,64
2	$k_{3Ч}$	0,81
3	$k_{PK}$	0,45

Для зручності аналізу трифакторну модель параметра можна уявити в графічному вигляді, але для цього необхідно знайти координати вузлової точки за відповідними факторами:  $k_{PT}$ ,  $k_{3Ч}$  і  $k_{PK}$ . Щоб знайти ці координати, у виразах (11) - (13) значення  $C'_i$  було прийнято за величину параметра  $C'_0$  і рівняння розв'язано стосовно відповідних факторів. У результаті виконання такої процедури було отримано:  $k_{PT_0}=0,214$ ,  $k_{3Ч_0}=0,395$  і  $k_{PK_0}=0,044$ .

Таким чином, координати  $C'_0$ ,  $k_{PT_0}$ ,  $k_{зч_0}$  і  $k_{PK_0}$  утворюють у багатовимірному просторі особливу точку, що є

вузловою (рис. 2), у якій відбувається перетинання функцій (11)-(13), які входять у вираз (10).

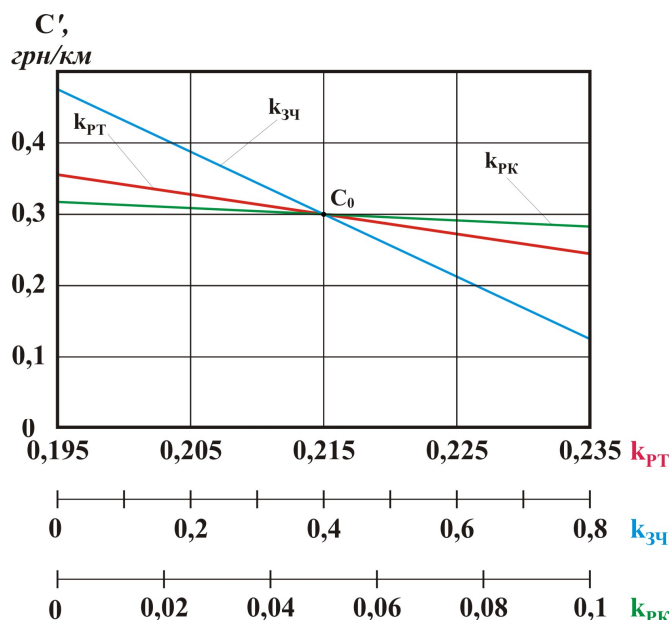


Рис. 2. Графічна інтерпретація багатofакторної моделі для оцінки рівня якості виконання ТО-2 тепловозам

Методика одержання багатofакторної моделі для оцінки рівня якості проведення ТО дозволяє здійснити їхнє варіювання в широкому діапазоні. Припустимо: потрібно знайти сполучення факторів, які забезпечують заданий рівень відносних витрат на проведення ТО, наприклад,  $C'_3=0,285$ . Цю задачу можна розв'язати або методом послідовного перебору чисельних значень факторів (що у свою чергу є дуже рутинною операцією), або на основі умови рівності ефектів, які привносяться кожним із цих факторів.

Це умова в математичній формі з урахуванням виразу (14) може бути записана таким чином:

$$C'_3 = \frac{C'_S{}^n}{C'_0{}^{n-1}}, \quad (18)$$

де  $C'_S$  – чисельне значення відносних витрат на проведення ТО, що привноситься кожним фактором;  $C'_0$  – середнє значення відносних витрат на проведення ТО в отриманому масиві даних;  $n$  – кількість факторів, що розглядаються.

Умова рівності ефектів дозволяє знайти таке сполучення факторів, при якому кожний із них привносить у досліджуваний процес однаковий ефект.

Стосовно до прикладу, який розглядається, вираз (18) перетворюється до вигляду

$$0,285 = \frac{C'_S{}^3}{0,3^2}. \quad (19)$$

У результаті розв'язання даного рівняння знаходимо

$$C'_S = \sqrt[3]{0,285 \cdot 0,3^2} = 0,295. \quad (20)$$

Для знаходження координат факторів, що забезпечують  $C'_S = 0,295$  необхідно у виразах (11) -(13) параметр  $C'_i$  дорівняти чисельному значенню параметру  $C'_S$  й вирішити ці рівняння щодо кожного з факторів.

У результаті розв'язання було отримано  $k_{PT} = 0,216$ ,  $k_{ЗЧ} = 0,401$  і  $k_{PK} = 0,056$ . Саме при такому сполученні факторів можна забезпечити рівень якості виконуваного ТО відповідно до середнього

значення відносних витрат на його проведення  $C'_S = 0,295$ .

За таким же принципом було проведено моделювання сполучення факторів  $k_{PT}$ ,  $k_{ЗЧ}$  і  $k_{PK}$  (у відсотках) залежно від зниження рівня відносних витрат на проведення ТО-2 (теж у відсотках). Діаграма за цим моделюванням подана на рис. 3.

З даної діаграми видно, що при зниженні відносних витрат на сервісне проведення ТО-2 найбільш значне зростання спостерігається за фактором  $k_{PK}$ , який характеризує підвищення рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу.

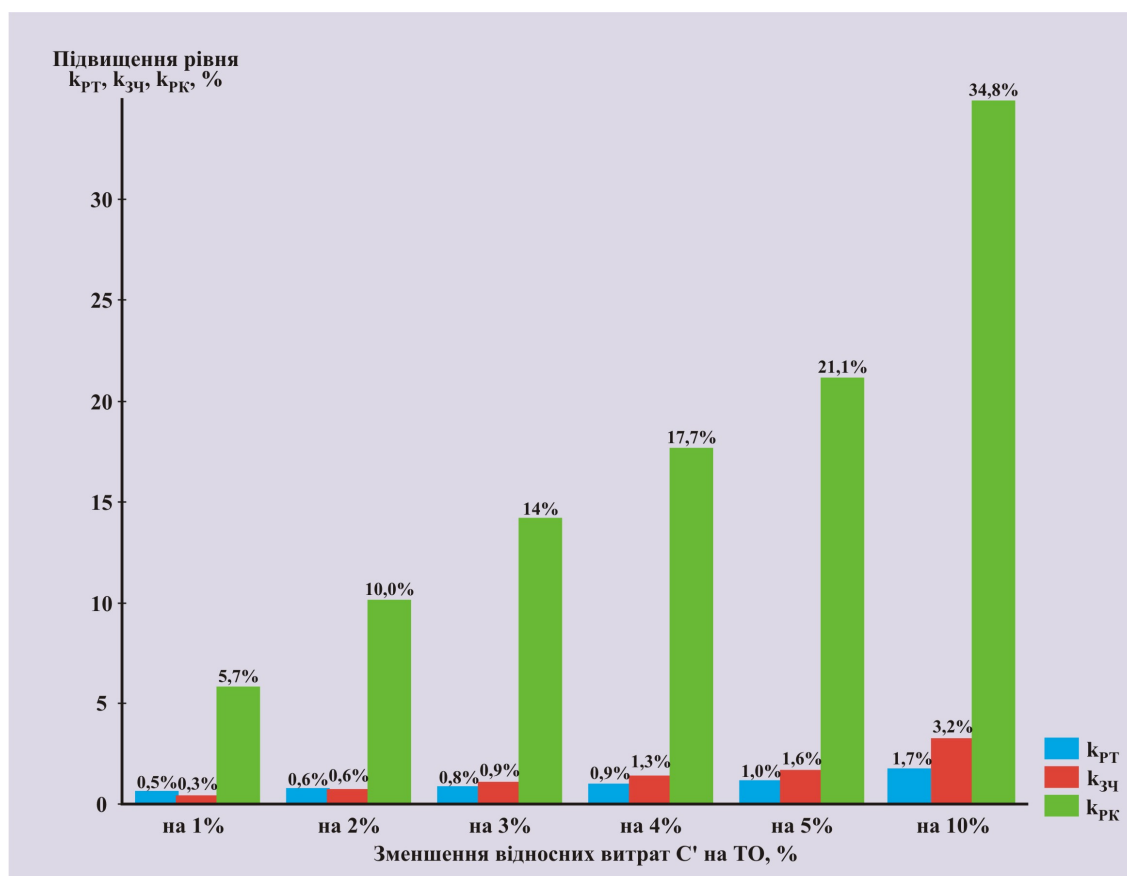


Рис. 3. Динаміка зростання рівня факторів  $k_{PT}$ ,  $k_{ЗЧ}$  і  $k_{PK}$  залежно від зниження відносних витрат на сервісне проведення ТО-2

Таким чином, запропонована методика дозволяє істотно спростити завдання ідентифікації, аналізу й синтезу основних параметрів, які впливають на рівень сервісного ТО тепловозів.

### Висновки:

1. Запропоновано якість сервісу ТО оцінювати за допомогою коефіцієнтів: рівня технології  $k_{PT}$ , завантаження застосовуваного механізованого обладнання  $k_{ЗМ}$ , забезпечення запасними частинами й матеріалами  $k_{ЗЧ}$ , а також рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу  $k_{PK}$ .

2. Формалізована математична модель якісної оцінки сервісу на основі багатофакторного аналізу. Для створення моделі, з метою підвищення ефективності

багатофакторного аналізу, був використаний метод вузлових точок. Відповідно до цього методу багатовимірна функція може бути розглянута як функція, що складається з багатьох часткових одновимірних функцій. Розгалуження цих функцій відбувається в точці, яка дозволяє немовби "пов'язати" одновимірні (однофакторні) функції у багатофакторну модель.

3. На підставі проведених розрахунків визначене вузлове значення коефіцієнтів  $k_{D0}$ ,  $k_{C\chi}$  і  $k_{DE}$ , при яких можна забезпечити рівень якості сервісу ТО відповідно до середнього значення відносних витрат на його проведення  $C'_S = 0,295$ .

### Список літератури

1. Бутько, Т.В. Совершенствование методов расчета параметров системы технического содержания локомотивов [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Т.В.Бутько. – Харьков: ХИИТ, 1969. – 321 с.
2. Горский, А.В. Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1994. – 210 с.
3. Иванкова, Л.Н. Сервис на транспорте [Текст]: учеб. пособие / Л.Н. Иванкова. – М.: Маршрут, 2005. – 75с.
4. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2005. – 117 с.
5. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів) [Текст]: Наказ №093-ЦЗ. – Затв. Укрзалізницею 30.06.2010. – К.: Укрзалізниця, 2010. – 27 с.
6. Сметанин, С.А. Качественная оценка сервісного технического обслуживания тепловозов [Текст] // Транспортні інновації. – 2010. – № 6. – С.9-15.
7. Тартаковский, Э.Д. Качество ремонта и надежность тепловозов [Текст] / Э.Д.Тартаковский. – М.: Транспорт, 1993. – 81с.
8. Федорец, В.А. Методика многофакторного анализа надежности тяговых электрических двигателей локомотивов [Текст] / В.А. Федорец, В.Я. Кузнецов, А.П. Фроленко // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. - №7. – С. 35-37.
9. Фирменное обслуживание подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. - №5. – С.36-40.
10. Четвергов, В.А. Надежность локомотивов [Текст] / В.А.Четвергов, А.Д.Пузанков; под общ. ред. В.А.Четвергова. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.

**Ключові слова:** аналіз, модель, обслуговування, рівень, сервіс, система, тепловоз, технологія, фактори, якість.



### *Анотації*

У статті запропонована методика визначення коефіцієнтів для оцінки рівня технології технічного обслуговування тепловозів залежно від відносних витрат на його виконання, а також методику їх визначення. На підставі отриманих даних створена багатофакторна модель, що дозволяє оптимально оцінити ефективність впроваджуваних заходів і істотно спростити задачу ідентифікації, аналізу й синтезу основних параметрів.

В статье предложена методика определения коэффициентов для оценки уровня технологии технического обслуживания тепловозов в зависимости от относительных затрат на его проведение, а также методику их определения. На основании полученных данных создана многофакторная модель, которая позволяет оптимально оценить эффективность внедряемых мероприятий и существенно упростить задачу идентификации, анализа и синтеза основных параметров.

In clause the technique of definition of factors for an estimation of a technological level of maintenance service of diesel locomotives depending on relative expenses for its carrying out, and also a technique of their definition is offered. Based on the received data the multifactor model that allows estimating optimum efficiency of introduced actions is created and it is essential to simplify a problem of identification, the analysis and synthesis of key parameters.