

# ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.482

Ю. М. ДАЦУН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, тел. +38 (050) 401 64 43, ел. пошта remlocomot@gmail.com, ORCID 0000-0002-5794-1528

## ОЦІНКА РІВНЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

**Мета.** Перевірки та обстеження технічного рівня локомотиворемонтних виробництв залізниць проводяться представниками керівного складу Департаменту та служби локомотивного господарства, ревізорського апарату, експертними групами в рамках атестації виробництва. Виявлені порушення фіксуються у вигляді лінгвістичних експертних тверджень, які не дозволяють оцінювати їх значимість та ефективно визначати пріоритетність усунення. Тому метою наукової роботи є розробка методики оцінки відповідності локомотиворемонтного виробництва вимогам нормативної документації з визначенням показника рівня відповідності. **Методика.** При формалізації лінгвістичних тверджень про відповідність ремонтного виробництва враховується вплив ряду чинників, значимість яких визначалась шляхом експертної оцінки, формалізованими моделями розвитку подій при побудові та аналізі «дерева відмов». Для обчислення показника рівня відповідності пропонується застосування потрійної адитивної згортки з коефіцієнтами вагомості. Дослідження взаємозв'язку інтегрального показника з витратами на утримання локомотивів проводилось методами регресійного аналізу. **Результати.** Аналіз результатів перевірок та обстежень технічного рівня локомотиворемонтних виробництв показав схожу структуру експертних тверджень невідповідностей, що дозволило представити їх у вигляді вектора. При перетворенні багатокритеріальної задачі в однокритеріальну був застосований найбільш об'єктивний метод зваженої суми. Обчислені показники відповідності за результатами обстеження ряду локомотиворемонтних виробництв. У результаті кореляційно-регресійного аналізу доведено вплив показника відповідності ремонтного виробництва на перевитрати для утримання локомотивів. **Наукова новизна.** Розроблена методика оцінки відповідності технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі лінгвістичних експертних тверджень із урахуванням впливу виду виявленої невідповідності, типу технологічного процесу, виду вузла локомотива та виду компоненту технічного рівня виробництва. Отримано взаємозв'язок рівня відповідності ремонтного виробництва та витрат на утримання локомотивів. **Практична значимість.** Застосування розробленої методики дозволить реально оцінити значимість виявлених невідповідностей, впорядкувати усунення невідповідностей згідно пріоритетності та підвищити ефективність капіталовкладень у ремонтне виробництво. Отримані регресійні рівняння дозволять нормувати показник відповідності та прогнозувати перевитрати на утримання локомотивів за результатами обстеження ремонтних виробництв.

*Ключові слова:* локомотиворемонтне виробництво; локомотив; рівень; показник; відповідність; вузол; технологічний процес; експерт; значимість

### Вступ

При ремонті локомотивів якість виконаних робіт істотно залежить від ряду факторів, що визначаються організаційно-технічним рівнем виробництва. Ці фактори розрізняються за своєю природою і ступенем впливу на ремонтне

виробництво, що ускладнює їх однозначну оцінку або вимірювання [2, 3, 17]. При визначенні технологічних можливостей ремонтного виробництва існує необхідність оцінки їх фактичного рівня. Дослідження складових організаційно-технічного рівня локомотиворемонтних виробництв (ЛРВ) українських залізниць показало,

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

що вони мають ієрархічну структуру. На нижньому рівні найбільший вплив становлять фактори: «обладнання та інструмент», «персонал», «виробниче середовище», «вимірювання», «технологічна документація» [1, 5, 14]. Рівень відповідності технологічних процесів вимогам конструкторської та технологічної документації на промислових підприємствах довгий час визначався в рамках контролю технологічної дисципліни виробництва [7, 9]. Кількісну оцінку порушень отримували як відношення числа технологічних процесів з відхиленнями до загальної кількості технологічних процесів. Такий підхід характеризується низькою інформативністю і не може враховувати різну значимість технологічних процесів ЛРВ, різну критичність вузлів локомотивів. У даний час у світовій практиці на етапах розробки, доопрацювання або поліпшення процесів широко використовується метод «аналізу видів і наслідків потенційних невідповідностей процесу» (Process Failure Mode and Effects Analysis, PFMEA) [10, 11, 13]. Його метою є поліпшення процесу на основі аналізу його потенційних невідповідностей з кількісним аналізом наслідків і причин невідповідностей. Однак, при розрахунку пріоритетного числа ризику процесу поряд з важливістю наслідків порушення враховуються складові виникнення (частоти) і ймовірності виявлення порушення процесу за порядковою (ранговою) шкалою. Застосування такого підходу при оцінці порушень технологічних процесів ЛРВ може призвести до спотворення результатів, неправильних висновків і коригувальних дій.

### Мета

Метою роботи є розробка методики оцінки рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва вимогам нормативної документації та обґрунтування впливу рівня відповідності на втрати, які пов'язані з утриманням локомотивів.

### Методика

При проведенні обстеження ЛРВ в рамках його атестації на право проведення ремонтів локомотивів, виявлення невідповідностей здійснюється експертною групою [8]. Невідповідності формулюються і реєструються у вигляді експертних тверджень типу: «установка для

перевірки обмоток якорів електричних машин на замикання в непрацездатному стані», «опресовування системи охолодження дизеля проводиться без підігріву води» і т. д. Природно, що різні невідповідності ремонтного виробництва не можуть здійснювати однаковий вплив на якість ремонту. З урахуванням ризикорієнтованого підходу, невідповідності у ремонті вузлів, які обумовлюють безпеку руху, мають більш суттєве значення, ніж невідповідності у ремонті вузлів допоміжних або резервованих систем [6]. Аналіз результатів обстеження ЛРВ українських залізниць за 15 років дозволив виявити, що всі експертні твердження невідповідностей ремонтного виробництва мають схожу структуру і можуть бути представлені у вигляді вектора:

$$X = \langle x_1, x_2, x_3 \rangle, \quad (1)$$

де  $x_1$  – вид виявленої невідповідності;  $x_2$  – вид вузла, при ремонті якого виявлена невідповідність;  $x_3$  – тип технологічного процесу, при виконанні якого виявлено невідповідність.

Для отримання кількісних оцінок складових невідповідностей необхідно застосовувати методи, які могли б враховувати вплив цих складових на кінцевий результат діяльності.

Аналіз складових (1) дозволяє стверджувати, що  $x_1$  є визначальною складовою, оскільки обумовлює вид невідповідності. За час існування процедури атестації ЛРВ експертами був сформований обмежений перелік невідповідностей виробництва. Для ЛРВ, що є виробничими підрозділами ПАТ «Українська залізниця», невідповідності розділяються за чотирма компонентами: «обладнання та інструмент», «персонал», «виробниче середовище», «документація», коефіцієнт вагомості яких обчислювався за даними [5]. У залежності від ступеня впливу на технологічний процес невідповідності кожного компонента виділялись в три групи: від тих, що здійснюють мінімальний негативний вплив (викликають незначні порушення технологічного процесу) до невідповідностей з максимальним негативним впливом (невиконання технологічного процесу). Кожній групі невідповідностей експертним шляхом призначався показник впливу на технологічний процес (табл. 1).

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Під час обстеження виробництва оцінка здійснюється по кожній ремонтній позиції згідно з технологічною послідовністю виконання робіт. Через ремонтні позиції проходять різні вузли і деталі, що порізно впливають на показники безпеки та працездатності локомотива. Це необхідно враховувати при оцінці рівня невідповідностей. Для оцінки альтернатив за векторним критерієм застосовуються перетворен-

ня, що переводять багатокритерійну задачу в однокритеріальну. Існує ряд підходів переводу векторного критерію в скалярний вид [12, 15]. Однак найбільш поширеним і простим є метод зваженої суми. Його застосування для вирішення поставленого завдання може забезпечити більшу об'єктивність відносно інших методів з компенсуючим ефектом.

Таблиця 1

**Розподіл невідповідностей локомотиворемонтного виробництва за компонентами та ступенем впливу на технологічний процес**

Table 1

**Distribution of discrepancies in locomotive repair production by components and degree of influence on the technological process**

Компонент виробництва	Коефіцієнт вагомості компонента	Характеристика невідповідності / показник впливу на технологічний процес		
		Виконання технологічного процесу з незначними порушеннями / 0,05	Виконання технологічного процесу з суттєвими порушеннями / 0,2	Невиконання технологічного процесу / 0,75
Документація (нормативна, конструкторська, технологічна)	0,15	Представлена не в повному обсязі. Застаріла, потребує оновлення чи перегляду	Відсутність на робочому місці	Відсутність на виробництві
Обладнання та інструмент	0,33	Порушення термінів технологічного обслуговування обладнання. Порушення термінів перевірки чи калібрування інструменту	Невідповідність типу обладнання та інструменту вимогам технологічних процесів. Невідповідність стану обладнання та інструменту вимогам	Відсутність необхідного обладнання чи інструменту
Виробниче середовище	0,25	Незначні невідповідності виробничого середовища	Невідповідність виробничих приміщень вимогам технологічного процесу	Відсутність необхідних виробничих приміщень
Персонал	0,27	Порушення термінів і планів технічного навчання та контролю знань	Незначні невідповідності по кількості чи кваліфікації персоналу	Недостатня кількість персоналу та невідповідність кваліфікації

Інтегральна оцінка ремонтних позицій розраховується як

$$R = \sum_{k=1}^4 \gamma_k \sum_{i=1}^p \lambda_i x_i, \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  – показник, що характеризує ступінь впливу невідповідності на технологічний процес ремонту;  $x_i$  – коефіцієнт вагомості технологічних процесів ремонту, при яких допускаються невідповідності;  $p$  – кількість невідповідностей, що були допущені на ремонтній пози-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ції за певним компонентом;  $\gamma_i$  – коефіцієнт вагомості компонента ремонтного виробництва.

Коефіцієнти вагомості технологічних процесів ремонту визначались з урахуванням їх показників значимості, отриманих у [4].

Після отримання інтегральних оцінок невідповідностей ремонтних позицій (2), виникає необхідність їх агрегування, але вже з урахуванням значимості різних вузлів, що ремонтується.

Оцінку значимості вузлів локомотивів доцільно здійснювати з точки зору ризикорієнтованого підходу, відповідно до значимості їх відмов в експлуатації. Оскільки ці дані залежать від особливостей конструкції вузлів локомотивів і ряду зовнішніх факторів, їх оцінка в загальному вигляді некоректна. Для даної роботи використовувалися результати експертного ранжування вузлів тепловозів та електровозів базових серій українських залізниць [6]. Використовуючи дані ранжування вузлів локомотивів, вагові коефіцієнти їх значимості визначалися за правилом Фішберна [16].

З огляду на обраний спосіб скаляризації критеріїв (2), обчислені вагові коефіцієнти показників загальний рівень невідповідності виробництва з ремонту локомотивів набуде вигляду потрійної адитивної згортки:

$$K_d = \sum_{j=1}^n \alpha_j \sum_{k=1}^m \gamma_k \sum_{i=1}^p \lambda_i x_i, \quad (3)$$

де  $\alpha_j$  – коефіцієнт вагомості значимості вузла локомотива, при ремонті якого допускається невідповідність.

Отриманий показник може змінюватися в межах від 0 до 1. Отже, для визначення показника відповідності ремонтного виробництва можна використовувати вираз:

$$K_c = 1 - K_d = 1 - \sum_{j=1}^n \alpha_j \sum_{k=1}^m \gamma_k \sum_{i=1}^p \lambda_i x_i. \quad (4)$$

Визначений показник характеризує загальний рівень відповідності ремонтного виробництва, причому, чим вище його значення, тим вище ступінь відповідності.

## Результати

За розробленою методикою проводилась оцінка рівня відповідності ЛРВ українських залізниць. Аналіз результатів оцінки (табл. 2) показує, що обстежені виробництва різняться за рівнем відповідності, а комплексний показник  $K_c$  лежить у межах 0,6...0,87. Відсутність суттєвих відмінностей значень  $K_c$  виробництв з ремонту тепловозів та електровозів пояснюється індивідуальним підходом при визначенні коефіцієнтів вагомості значимості  $\alpha_j$  вузлів різних локомотивів.

У теперішній час стан ремонтного виробництва є основним чинником, що обумовлює надійність локомотивів в експлуатації, тому підтвердження адекватності отриманого коефіцієнту невідповідності ремонтного виробництва можливе за рахунок визначення його зв'язку з технічним станом локомотивів.

В умовах використання недосконалих форм реєстрації відмов та пошкоджень локомотивів, неможливості відстеження збільшення обсягу робіт при планових видах ремонту через низький технічний стан локомотивів найбільш об'єктивним показником, що відображає стан локомотивів, є витрати на їх утримання.

Зважаючи на різний термін експлуатації та технічний стан локомотивів різних серій, витрати приводилися у вигляді питомого показника (коефіцієнту перевитрат  $S_{ПВ}$ ):

$$S_{ПВ} = \frac{S_{П}}{S_{Ф}}, \quad (5)$$

де  $S_{П}$  – планові витрати на утримання локомотива на рік, тис. грн.;  $S_{Ф}$  – фактичні витрати на утримання локомотива на рік, тис. грн.

На основі поля кореляції висувалася гіпотеза, що характер зв'язку між значеннями  $K_c$  та  $S_{ПВ}$  має експоненціальний характер (рис. 1).

Після визначення параметрів регресії методом найменших квадратів, були отримані регресійні моделі для виробництв з ремонту тепловозів (6) та електровозів (7):

$$S_{ПВ}^m = 7,11 \cdot e^{-1,884K_c}; \quad (6)$$

$$S_{ПВ}^e = 3,87 \cdot e^{-1,352K_c}. \quad (7)$$

Таблиця 2

## Значення показника рівня відповідності локомотиворемонтних виробництв українських залізниць

Table 2

## Compliance level figure of locomotive repair production at Ukrainian railways

Показник рівня відповідності $K_c$ виробництва з ремонту	Локомотиворемонтне виробництво									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
тепловозів	0,61	0,64	0,67	0,7	0,71	0,77	0,79	0,83	0,84	0,86
електровозів	0,6	0,62	0,66	0,68	0,71	0,73	0,79	0,81	0,82	0,87

Статистична значимість рівнянь перевірена за допомогою коефіцієнта детермінації та критерію Фішера. Коефіцієнти детермінації склали значення 0,79 та 0,73 відповідно. Тобто рівняння регресії пояснюють 79 % та 73 % варіації коефіцієнту перевитрат на утримання локомотивів варіацією коефіцієнту відповідності виробництва.

Це вказує на високу точність підбору рівнянь регресії та добре узгоджується з тими фактами, що причинами відмов локомотивів в експлуатації в 60 – 70 % випадків є невідповідності ремонтних виробництв.

Отримані значення коефіцієнтів еластичності вказують, що збільшення коефіцієнта відпо-

відності ремонтного виробництва на 1 %, призведе до зменшення витрат на 1,88 % на утримання тепловозів та на 1,35 % на утримання електровозів. Що підтверджує адекватність обраної методики оцінки рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва.

З використанням F-критерію встановлено, що отримані рівняння регресії є статистично значимими ( $F^T = 32,38$ ,  $F^e = 20,36$ ,  $F_{табл} = 5,32$ ,  $F^T > F_{табл}$ ,  $F^e > F_{табл}$ ).

Отримані результати доводять, що коефіцієнт відповідності ремонтного виробництва здійснює значний вплив на перевитрати на технічне утримання локомотивів, що характеризує їх технічний стан.

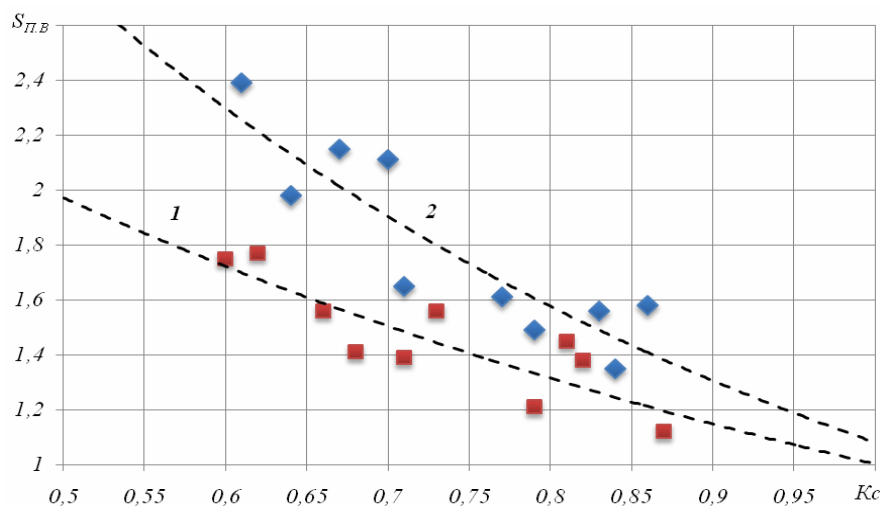


Рис. 1. Визначення характеру зв'язку між коефіцієнтами ремонтного виробництва: 1 – електровозів; 2 – тепловозів

Fig. 1. Determination the bond character between the coefficients of repair production: 1 – electric locomotives; 2 – diesel locomotives

### Наукова новизна та практична значимість

Розроблена методика оцінки відповідності технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі лінгвістичних експертних тверджень, з урахуванням впливу виду виявлених невідповідностей, типу технологічного процесу, виду вузла локомотива та виду компонента технічного рівня виробництва.

Застосування розробленої методики дозволить реально оцінювати значимість виявлених невідповідностей, впорядкувати усунення невідповідностей згідно їх пріоритетності та підвищити ефективність капіталовкладень у ремонтне виробництво. Отримані регресійні рівняння дозволять нормувати показник відповідності

та прогнозувати перевитрати на утримання локомотивів за результатами обстеження ремонтних виробництв.

### Висновки

У результаті проведеної роботи була запропонована методика оцінки відповідності ремонтного виробництва локомотивів вимогам нормативної документації, яка базується на використанні комплексного показника рівня відповідності у вигляді потрійної адитивної згортки з трьома коефіцієнтами вагомості. Кореляційно-регресійний аналіз комплексних показників ремонтних виробництв та перевитрат на утримання локомотивів підтверджує адекватність запропонованого підходу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боднар, Б. Е. Моделирование технологий ремонта технических объектов / Б. Е. Боднар // Вестн. нац. трансп. ун-та и трансп. акад. Украины. – Киев, 2002. – Вып. 6. – С. 10–14.
2. Боднар, Б. Є. Обґрунтування критерію ефективності функціонування ремонтного підрозділу депо промислового підприємства / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тез. 72 міжнар. наук.-практ. конф. (19.04–20.04.2012) / М-во інфраструктури України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 12.
3. Боднар, Б. Є. Структурно-функціональний аналіз системи ремонту рухомого складу промислових підприємств / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, Р. О. Коренюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 70–79.
4. Дацун, Ю. М. Визначення ступеню впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу / Ю. М. Дацун // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 1/7 (79). – С. 56–61. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59878.
5. Дацун, Ю. М. Дослідження складових організаційно-технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі когнітивних карт / Ю. М. Дацун // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун-ту залізн. трансп. – Харків, 2016. – Вип. 160. – С. 105–111.
6. Дацун, Ю. М. Оцінка параметрів відмов вузлів локомотивів при визначенні їх системи технічного обслуговування та ремонту / Ю. М. Дацун // Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті : тез. 77 міжнар. наук.-техн. конф. (21.04–23.04.2015) / М-во освіти і науки України, Укр. держ. ун-т залізн. трансп. – Харків, 2015. – С. 69.
7. Контроль технологической дисциплины как условие стабильности производственного процесса / Ю. М. Фаргышев, М. М. Кузнецов, А. К. Гаутцель, В. Ю. Языков // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – № 3. – С. 214–218.
8. Положення з атестації підприємств з обслуговування та ремонту тягового рухомого складу : ЦТ-0162 : затв. наказом Держ. адмін. залізн. трансп. України від 10.10.2007 р. – Київ : Укрзалізниця, 2007. – 244 с.
9. Рекомендации. Контроль технологической дисциплины. Общие положения : Р 50-609-48-88. – Введ. 1989-09-29. – Горький : Горьковский филиал ВНИИ по нормализации в машиностроении, 1989. – 44 с.
10. Methodology for Optimizations of Business Processes in Macedonian Railways – Transport in the Republic of Macedonia / E. Mitreva, E. Nikolov, B. Nikolova, N. Taskov, N. Dimitrov // Mediterranean J. of Social Sciences. – 2016. – Vol. 7. – No. 3 S1. – P. 394–402. doi: 10.5901/mjss.2016.v7n3s1p394.
11. Mikosa, W. Knowledge Sharing and Reuse in Potential Failure Mode and Effects Analysis in the Manufacturing and Assembly Processes (PFMEA) Domain / W. Mikosa, J. Ferreira // Complex Systems Concurrent Engineering : Conf. Proc. – London, 2007. – P. 461–468. doi: 10.1007/978-1-84628-976-7\_51

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches / J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Slowinski. – Berlin : Springer, 2008. – 470 p.
13. Rachieru, N. Improvement of Process Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Logic / N. Rachieru, N. Belu, D. C. Anghel // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 371. – P. 822–826. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.371.822.
14. Rail Transport – Systems Approach / A. Śladowski (Ed.). – Cham : Springer International Publishing AG, 2017. – 466 p. doi: 10.1007/978-3-319-51502-1.
15. Stadler, W. Multicriteria optimization in engineering and in the sciences / W. Stadler. – New York : Plenum Press, 1988. – 405 p.
16. Fishburn, P. C. Utility Theory for Decision Making / P. C. Fishburn. – New York : Wiley, 1970. – 246 p.
17. Zhang, H. Research on the Measurement of Enterprise Technological Innovation Capability Model based on Information Axiom / H. Zhang // Intern. J. of Multimedia and Ubiquitous Engineering. – 2014. – Vol. 9. – Iss. 7. – P. 319–332. doi: 10.14257/ijmue.2014.9.7.27.

Ю. Н. ДАЦУН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел +38 (057) 730 19 99, тел. +38 (050) 401 64 43, ел. пошта gem-locomot@gmail.com, ORCID 0000-0002-5794-1528

## ОЦЕНКА УРОВНЯ СООТВЕТСТВИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Цель.** Проверки и обследования технического уровня локомотиворемонтных производств железных дорог проводятся представителями руководящего состава Департамента и службы локомотивного хозяйства, ревизорского аппарата, экспертными группами в рамках аттестации производства. Выявленные нарушения фиксируются в виде лингвистических экспертных утверждений, которые не позволяют оценивать их значимость и эффективно определять приоритетность устранения. Поэтому целью научной работы является разработка методики оценки соответствия локомотиворемонтного производства требованиям нормативной документации с определением показателя уровня соответствия. **Методика.** При формализации лингвистических утверждений о несоответствии ремонтного производства учитывается влияние ряда факторов, значимость которых определялась путем экспертной оценки, формализованными моделями развития событий при построении и анализе «дерева отказов». Для вычисления показателя уровня соответствия предлагается применение тройной аддитивной свертки с коэффициентами весомости. Исследование взаимосвязи интегрального показателя с расходами на содержание локомотивов проводилось методами корреляционно-регрессионного анализа. **Результаты.** Анализ результатов проверок и обследований технического уровня локомотиворемонтных производств показал схожую структуру экспертных утверждений несоответствий, что позволило представить их в виде вектора. При преобразовании многокритериальной задачи в однокритериальную был применен наиболее объективный метод взвешенной суммы. Рассчитаны показатели соответствия по результатам обследования ряда локомотиворемонтных производств. В результате корреляционно-регрессионного анализа доказано влияние показателя соответствия ремонтного производства на перерасход для содержания локомотивов. **Научная новизна.** Разработана методика оценки соответствия технического уровня локомотиворемонтного производства на основе лингвистических экспертных утверждений с учетом влияния вида выявленного несоответствия, типа технологического процесса, вида узла локомотива и вида компонента технического уровня производства. **Практическая значимость.** Применение разработанной методики позволит реально оценить значимость выявленных несоответствий, упорядочить устранение несоответствий согласно приоритетности и повысить эффективность капиталовложений в ремонтное производство. Полученные регрессионные уравнения позволят нормировать показатель соответствия и прогнозировать перерасход на содержание локомотивов по результатам обследования ремонтных производств.

**Ключевые слова:** локомотиворемонтное производство; локомотив; уровень; показатель; соответствие; узел; технологический процесс; эксперт; значимость

Y. M. DATSUN<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Maintenance and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 19 99, tel. +38 (050) 401 64 43, e-mail remlocomot@gmail.com, ORCID 0000-0002-5794-1528

## CONFORMANCE RATING FOR LOCOMOTIVE REPAIR PRODUCTIONS

**Purpose.** Inspection and observation of the technical level of rail locomotive repair productions are conducted by the management team of the Department and the Locomotive division, audit sectors, expert groups within the production certification procedure. The faults revealed are fixed as linguistic expert reports which cannot assess their significance and identify priorities in terms of elimination. The paper aimed the development of methods for the conformance rating for locomotive repair production to legal requirements with conformance level determination. **Methodology.** Formalization of linguistic reports on the locomotive repair facility conformance takes into account the influence of a whole number of factors, their significance being determined by the expert assessment, formalized models of events when designing and analyzing the fault tree. In order to calculate the conformance, index the triple additive convolution with the weight coefficient is proposed. Investigation into interrelation between the integral index and the locomotive maintenance costs was conducted by methods of the correlation and regression analysis. **Findings.** The analysis of results of inspection and observation of the technical level of locomotive repair productions demonstrated a similar structure of expert reports on faults, which made it possible to present them as a vector. While transforming a multi-criterion problem into a single-criterion one of the most objective method, the weighted sum method, was applied. The conformance indices were calculated according to the results of observations on several locomotive repair productions. The correlation and regression analysis proved the influence of the conformance index of locomotive repair productions on locomotive maintenance overconsumption. **Originality.** The conformance rating methods for a technical level of locomotive repair productions based on linguistic expert reports which consider type of the fault detected, type of the technological process, type of the locomotive unit and type of the technical level of production have been designed. **Practical value.** Implementation of the methods designed will help undertake assessment of the faults detected, eliminate them according to the priority and invest more effectively in locomotive repair productions. The regressive equations obtained allow standardizing the conformance index and forecasting possible locomotive maintenance overconsumption by the results of inspection at repair productions.

**Keywords:** locomotive repair production; locomotive; level; index; conformance; unit; technological process, expert, significance

### REFERENCES

1. Bodnar, B. Y. (2002). Modelirovaniye tekhnologiy remonta tekhnicheskikh obektov. *Vestnik natsionalnogo transportnogo universiteta i Transportnoy akademii Ukrainy*, 6, 10-14.
2. Bodnar, B. Y., & Kapitsa, M. I. (2012). Obhruntuvannya kryteriiu efektyvnosti funktsionuvannya remontnoho pidrozdilu depo promyslovoho pidpriemstva. *Abstracts of the 72 International Scientific & Practical Conference "The problems and prospects of railway transport development", Dnepropetrovsk, April 19-20, 2012.* (pp. 12). Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan
3. Bodnar, B. E., Kapitsa, M. I., & Korenyuk, R. A. (2012). Structural-functional analysis of rolling stock repair of industrial enterprises. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 42, 70-73.
4. Datsun, Y. M. (2016). Determination of the degree of influence of repair processes on serviceability of units of the traction rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7) (79), 56-61. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59878
5. Datsun, Y. M. (2016). Research of the elements of the organizational-technical level of locomotive repair productions based on cognitive maps. *Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 160, 105-111.
6. Datsun, Y. M. (2015). Otsinka parametriv vidmov vuzliv lokomotyviv pry vyznachenni yikh systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya ta remontu. *Abstracts of the 77 International Conference «The development of*



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- research and innovation in transport», Kharkiv, April 21-23, 2015. (pp. 69). Kharkiv: Ukrainian State University of Railway Transport.*
7. Fartyshev, Y. M., Kuznetsov, M. M., Gaultsel, A. K., & Yazykov, V. Y. (2015). Control of technological discipline as a condition for the stability of the production process. *Interexpo Geo-Siberia*, 3, 214-218.
  8. Ukrzaliznytsia. (2007). *Polozhennia z atestatsii pidpriemstv z obsluhovuvannia ta remontu tiahovoho rukhomoho skladu TsT-0162*. Kyiv: Ukrzaliznytsia.
  9. Rekomendatsii. Kontrol tekhnologicheskoy distsipliny. Obshchiye polozheniya. R 50-609-48-88. (1989). Gorky: Gorky branch of the Institute for normalization in mechanical engineering.
  10. Mitreva, E., Nikolov, E., Nikolova, B., Taskov, N., & Dimitrov, N. (2016). Methodology for Optimizations of Business Processes in Macedonian Railways – Transport in the Republic of Macedonia. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 7(3 S1), 394-402. doi: 10.5901/mjss.2016.v7n3s1p394
  11. Mikosa, W., & Ferreira, J. (2007). Knowledge Sharing and Reuse in Potential Failure Mode and Effects Analysis in the Manufacturing and Assembly Processes (PFMEA) Domain. In G. Loureiro, & R. Curran (eds.), *Complex Systems Concurrent Engineering* (pp. 461-468). London: Springer. doi: 10.1007/978-1-84628-976-7\_51
  12. Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., & Slowinski, R. (2008). *Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches*. Berlin: Springer.
  13. Rachieru, N., Belu, N., & Anghel, D. (2013). Improvement of Process Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Logic. *Applied Mechanics and Materials*, 371, 822-826. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.371.822
  14. Śladkowski A. (Ed.). (2017). Rail Transport – Systems Approach. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 87). Cham: Springer International Publishing AG. doi 10.1007/978-3-319-51502-1
  15. Stadler, W. (1988). *Multicriteria optimization in engineering and in the sciences*. New York: Plenum Press.
  16. Fishburn, P. C. (1970). *Utility Theory for Decision Making*. New York: Wiley.
  17. Zhang, H. (2014). Research on the Measurement of Enterprise Technological Innovation Capability Model based on Information Axiom. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(7), 319-332. doi: 10.14257/ijmue.2014.9.7.27

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Г. Пузиром (Україна); д.т.н., проф. Б. Є. Боднаром (Україна)

Надійшла до редколегії: 16.02.2017

Прийнята до друку: 18.05.2017