

10. Agus, M. Abrasive performance in rock cutting with AWJ and ASJ [Text] / M. Agus, A. Bortolussi // Proc. 8-th American Water Jet Conference, 1995. – P. 31–48
11. Ламм, Т. В. Повышение точности деталей из листа при гибке-формовке эластичной средой [Текст] / Т. В. Ламм, Е. И. Исаченков. – Технические проблемы производства ЛА и двигателей. – Казань, 1998. – С. 20–29.
12. David, A. Waterjetting Technology [Text] / A. David, D. Summers. – Printed in Great Britain by the Alden Press, Oxford, 1995. – 882 p.
13. Саленко, А. Ф. Повышение точности контурного гидроабразивного резания пластин из твердых сплавов и сверхтвердых материалов [Текст] / А. Ф. Саленко, В. Т. Щетинин, А. Н. Федотьев. – 2014. – Т. 3, № 36. – С. 73–84. doi: 10.3103/s1063457614030083
14. Саленко, А. Ф. Качество обработки материалов гидроабразивной струей [Текст] / А. Ф. Саленко, А. В. Фомовская // Оборудование и инструмент. – 2009. – № 1. – С. 16–19.
15. Тихомиров, Р. А. Гидрорезание неметаллических материалов [Текст] / Р. А. Тихомиров, В. С. Гуенко. – Киев: Техника, 1984. – 150 с.
16. Сви́рский, Ю. О методе расчета скорости распространения трещины при нестационарном повреждении [Текст] / Ю. Сви́рский // Ученые записки ЦАГИ. – 1976. – Т. VII, № 4. – С. 81–96.

*В статті загальна структура виробничого процесу ремонту представляється як система, що складається з ряду елементів, які мають різний вплив на результуючу подію, – відмову вузла в експлуатації після ремонту. Застосування інструментів алгебри логіки дозволило визначити структурну значимість елементів системи, що характеризує ступінь впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу*

*Ключові слова: технологічний процес, ремонт, вузол, тяговий рухомий склад, вплив, елемент, відмова, система, справність, оцінка*

*В статье общая структура производственного процесса ремонта представляется как система, состоящая из ряда элементов, которые имеют различное влияние на результирующее событие, – отказ узла в эксплуатации после ремонта. Применение инструментов алгебры логики позволило определить структурную значимость элементов системы, которая характеризует степень влияния технологических процессов ремонта на исправность узлов тягового подвижного состава*

*Ключевые слова: технологический процесс, ремонт, узел, тяговой подвижной состав, влияние, элемент, отказ, система, исправность, оценка*

УДК:629.4.027

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59878

# ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ НА СПРАВНІСТЬ ВУЗЛІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Ю. М. Дацун

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра експлуатації та  
ремонт рухомого складуУкраїнський державний університет  
залізничного транспорту

пл. Феєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61000

E-mail: remlocomot@gmail.com

## 1. Вступ

Реструктуризація залізничного комплексу України вимагає вирішення ряду складних правових, організаційних та технічних питань. Трансформація галузі повинна відповідати вимогам часу та носити оптимізаційний характер. Локомотивне господарство в цей час поряд із забезпеченням перевізної роботи залізниць та утриманням локомотивів постане перед питаннями розробки, виробництва та впровадження нових серій тягового рухомого складу (ТРС), модернізації та відновлювального ремонту існуючого парку ТРС, впровадження нових форм взаємодії між суб'єктами – учас-

никами перевізного процесу, розробка та застосування нових видів та методів утримання і сервісу ТРС [1].

Важливим питанням в таких умовах є необхідність об'єктивної оцінки технічного рівня локомотиворемонтних виробництв, як основного критерію при визначенні базових підприємств для організації сервісу ТРС різних серій.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Перші методи оцінки діяльності підприємств виникли в західній економіці в 20-ті роки минулого

століття. Вони базувались здебільшого на фінансових показниках та довгий час не мали альтернатив [2, 3]. Наприкінці ХХ століття почали з'являтися нові концепції визначення ефективності роботи підприємств, з урахуванням комплексної оцінки збалансованих показників [4] та їх впливу на якість продукції [5, 6].

Необхідність підвищення якості та конкурентоспроможності промислової продукції викликало появу та розвиток нових підходів в оцінці технічного та технологічного потенціалу промислових підприємств [7–9], визначення показників ефективності розвитку підприємств [10, 11]. Для умов розвинених підприємств стають актуальними питання оцінки інноваційного потенціалу [12, 13].

Розроблені підходи спираються на визначення стану промислового підприємства в ринковому середовищі шляхом оцінки організаційно-економічних показників. Суттєві відмінності локомотиворемонтних підприємств залізниць від промислових підприємств машинобудівного напрямку за рядом ключових критеріїв не дозволяють застосовувати існуючі методи оцінки.

Роботи з оцінки організаційно-технічного стану локомотиворемонтних підприємств залізниць України проводяться з 2002 року в рамках процедури їх атестації [14]. Результатом такої роботи стало отримання керівництвом відповідних департаментів Укрзалізничної об'єктивної інформації щодо основних невідповідностей ремонтних виробництв за напрямками: документація, персонал, виробничі приміщення та площі, обладнання та інструмент. Основним недоліком існуючої процедури є суб'єктивність прийнятих рішень, що викликано різним кількісним та якісним складом атестаційних комісій. В [15] запропоновано формалізувати лінгвістичний характер експертних оцінок на основі методів нечіткої логіки. Однак такий підхід не дозволяє інтерпретувати невідповідності, пов'язані з порушенням технології чи відсутністю певного обладнання та інструменту. Для такої оцінки із застосуванням згорток необхідне проведення досліджень з визначенням ступеню впливу окремих технологічних процесів на справність вузлів ТРС після ремонту.

В сучасних умовах підвищення вартості енергоносіїв, пошуку додаткових резервів економії ресурсів та підвищення якості виробництва, питання визначення впливу технологічних процесів на стан вузлів і агрегатів машин стають об'єктом багатьох досліджень. Найбільш поширеним і простим методом визначення ступеню впливу технологічних процесів є експертна оцінка. Так в [16, 17] шляхом експертного опитування визначаються коефіцієнти вагомості технологічних операцій підготовки сільськогосподарської техніки до зберігання. В [18] розраховується критичність порушення технологічних процесів на основі бальної експертної оцінки критеріїв в рамках процедури аналізу видів та наслідків потенціальних дефектів (Potential Failure Mode and Effects Analysis, FMEA). Недоліками підходів із застосуванням експертних оцінок є необхідність залучення багатьох кваліфікованих спеціалістів, складність при врахуванні рівня компетентності експертів, зниження адекватності результатів при збільшенні кількості об'єктів оцінки, що вказує на доцільність застосування розрахункових методів при вирішенні задач такого роду.

Для підвищення точності визначення вагомостей технологічних операцій в [19] пропонується використання регресійного аналізу результатів спостережень. В якості вихідних даних розрахунку використовують значення долі зношення, що приходиться на одну технологічну операцію. Отримання таких даних пов'язане з великим обсягом спостережень, та потребує додаткових робіт для кожного окремого розрахунку при зміні умов експерименту.

В роботі [20] ранг технологічних операцій визначають в результаті побудови графу технологічного процесу та визначення сумарної кількості зв'язків операцій. Такий підхід може давати позитивні результати при аналізі розгалужених технологічних процесів з великою кількістю зв'язків та переходів. При аналізі технологічних процесів з послідовним виконанням операцій ранги всіх операцій будуть однакові.

Проведений аналіз вказує на актуальність задач, пов'язаних з визначенням впливу технологічних процесів на стан вузлів і агрегатів машин. Однак існуючі методи не дозволяють визначати ступінь впливу окремих технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів на їх справність після ремонту.

---

### 3. Ціль та задачі дослідження

---

Проведені дослідження ставили за мету визначити ступінь впливу окремих технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів ТРС залізниць на їх справність після ремонту.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначення загальної структури та основних характеристик виробничого процесу ремонту вузлів і агрегатів ТРС;
- вибір методу оцінки ступеню впливу стану елемента на стан системи;
- формалізація виробничого процесу ремонту вузлів і агрегатів ТРС в функції алгебри логіки;
- обчислення показників впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів і агрегатів після ремонту;
- перевірка адекватності отриманих результатів.

---

### 4. Матеріали та методи дослідження значимості впливу технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів ТРС залізниць на їх справність

---

#### 4. 1. Визначення загальної структури та основних характеристик виробничого процесу ремонту вузлів і агрегатів ТРС

Ремонт машин полягає в виявленні та усуненні їх несправностей, що обумовлює основні відмінності ремонтного виробництва від машинобудівного. Ремонт вузлів і агрегатів ТРС проводиться в рамках виробничого процесу, що обумовлює організацію та послідовність виконання ряду основних та допоміжних технологічних процесів ремонту. Існуюча технологія ремонту вузлів і агрегатів ТРС формувалась до активного розвитку та поширення методів і засобів оцінки технічного стану об'єктів. Тому навіть для виявлення несправностей більшості вузлів і агрегатів проводить-







експертною групою в рамках комплексної оцінки [26]. Ступінь узгодженості експертів визначається за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла:

$$W = \frac{12D}{m^2(n^2 - n)}, \quad (6)$$

де  $D$  – сума квадратів рангів;  $m$  – число експертів;  $n$  – число процесів, що аналізуються.

Розрахований коефіцієнт конкордації проведеного ранжування складає 0,832, що вказує на високий ступінь узгодженості експертів.

При порівнянні результатів визначення вагомості технологічних процесів видно, що дані ранжування відповідають значенням, отриманим розрахунковим шляхом (рис. 3), що підтверджує їх адекватність.

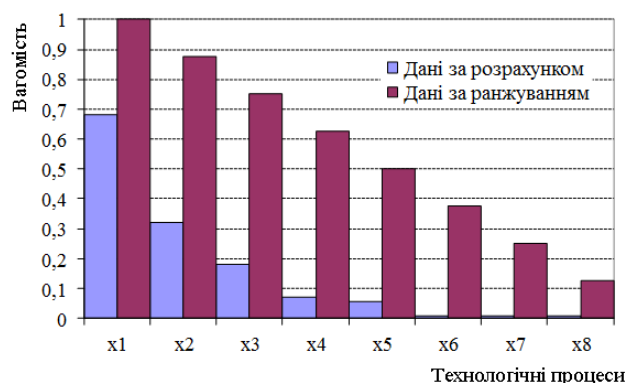


Рис. 3. Порівняння значень вагомості технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів ТРС, визначених розрахунком та експертною оцінкою (ранжуванням)

Найбільше значення вагомості має технологічний процес «Обкатування та випробування». Причому в даних, отриманих за розрахунком, значення його вагомості більше за сумарну вагомість всіх попередніх технологічних процесів.

## 6. Обговорення результатів визначення впливу технологічних процесів ремонту вузлів і агрегатів ТРС залізниць на їх справність

Про розгляданні виробничого процесу ремонту вузлів та агрегатів ТРС залізниць була обрана його елементарна структура з послідовним виконанням технологічних процесів. Такий порядок проведення робіт передбачає, що кожен технологічний процес починається після закінчення попереднього. І чим раніше виконується технологічний процес в структурі, тим більше ймовірність виявлення його порушення при виконанні послідовних технологічних процесів. Це підтверджують отримані значення вагомості технологічних процесів, що поступово зростають зі значень 0,008 для початкових технологічних процесів, до значення 0,68 заключного технологічного процесу.

Порівняння отриманих значень вагомості із результатами ранжування дозволяє констатувати їх більшу інформативність. Якщо результати ранжуван-

ня характеризують тільки розташування процесів в порядку переваг, то результати проведеного розрахунку дозволяють оцінити індивідуальну частку впливу кожного процесу.

## 7. Висновки

1. Визначено, що до виробничого процесу ремонту більшості вузлів і агрегатів ТРС входять технологічні процеси очищення, контролю стану, розбирання, відновлення, комплектування та збирання, обкатування та випробування. В процесі ремонту окремого вузла чи агрегату, порядок виконання вказаних технологічних процесів – послідовний. Означені технологічні процеси різняться за складністю виконання, трудомісткістю, застосованим обладнанням, інструментом та точністю, отже порушення кожного з них може здійснювати вплив різного ступеню на відмову вузла після ремонту.

2. Виявлено, що найбільш поширеним показником, який характеризує ступінь впливу окремого елемента на надійність системи, є «значимість» елемента. За відсутності кількісної інформації про надійність елементів структурно-складної системи, їх вплив на надійність всієї системи визначається за допомогою поняття «вага» елемента в структурі. Для визначення ваги технологічних процесів, виробничий процес ремонту вузла ТРС представлявся як структурна система, що складається з окремих елементів (технологічних процесів та операцій). Виявлення причинно-наслідкових зв'язків відмов отриманої системи з відмовами її елементів та іншими подіями проводилось шляхом використання формалізованої моделі розвитку подій шляхом побудови та аналізу «дерева відмов» (FaultTreeAnalysis – FTA).

3. Виконано формалізацію дерева відмов в матричній та спрощеній формі. Отримана функція працездатності системи, що приводилась до ДНФ. Для обчислення ваги технологічних процесів, функція у ДНФ перетворювалась до досконалої форми із застосуванням спеціалізованих програмних засобів.

4. Проведені обчислення показали, що технологічні процеси ремонту мають різну вагу, отже відрізняються за ступенем впливу на справність вузла після ремонту. Найбільший вплив (вагу) мають технологічні процеси, які виконуються на заключних етапах ремонту: «обкатка і випробування» – 0,68; «комплектування та збирання» – 0,32; «контроль якості ремонту (відновлення) вузла» – 0,18. Процеси, виконання яких буде перевірятися на заключних етапах, мають меншу вагу: «ремонт (відновлення)» – 0,07; «дефектація» – 0,055. Допоміжні процеси, які виконуються на початкових етапах ремонту (розбирання, передремонтна оцінка та очистка вузла) мають мінімальну вагу – 0,008.

5. Для перевірки адекватності отриманих результатів проводилось порівняння даних, отриманих в результаті розрахунку, та експертної оцінки (ранжування). Розташування процесів в порядку збільшення переваг за ранжуванням повністю відповідає їх розташуванню в порядку збільшення вагомості за розрахунком, що підтверджує їх адекватність.

Література

1. Дацун, Ю. Н. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе методов нечеткой логики [Текст] / Ю. Н. Дацун // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1. – С. 77–80.
2. The DuPont Analysis: Making Benchmarking Easier and More Meaningful [Electronic resource]. – 2012. – Available at: <http://articles.extension.org/pages/11805/the-dupont-analysis-making-benchmarking-easier-and-more-meaningful/>
3. Pearce, J. M. Return on investment for open source scientific hardware development [Text] / J. M. Pearce. – Science and Public Policy, 2015. doi: 10.1093/scipol/scv034
4. Muralidharan, R. A framework for designing strategy content controls [Text] / R. Muralidharan // International Journal of Productivity and Performance Management. – 2004. – Vol. 53, Issue 7. – P 590–601. doi: 10.1108/17410400410561213
5. Mulcaster, W. R. Three Strategic Frameworks [Text] / W. R. Mulcaster // Business Strategy Series. – 2009. – Vol. 10, Issue 1. – P 68–75. doi: 10.1108/17515630910937814
6. Ishikawa, K. What is Total Quality Control? The Japanese Way [Text] / K. Ishikawa. – London: Prentice Hall, 1985. – 240 p.
7. Gontareva, I. V. Determination of factors of enterprise system efficiency [Text] / I. V. Gontareva // Nauka i studia. – 2009. – Vol. 8, Issue 20. – P. 5–11.
8. Коверга, С. В. Ефективність діагностики техніко-технологічного потенціалу машинобудівного підприємства [Текст] / С. В. Коверга, О. С. Передерєєва, С. П. Кузьменко // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 205–209.
9. Євдокимов, Ф. І. Оцінка техніко-технологічного потенціалу високотехнологічного підприємства [Текст] / Ф. І. Євдокимов, В. Ф. Лисяков // Наукові видання ДонНТУ. Економічна серія. – 2005. – Вип. 97 – С. 25–30.
10. Рачинська, Г. В. Оцінювання рівня технологічного розвитку підприємств [Текст] / Г. В. Рачинська, Л. С. Лісовська // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. – 2011. – № 698. – С. 277–281.
11. Пономаренко, В. С. Структуризація показників системної ефективності розвитку підприємств [Текст] / В. С. Пономаренко, І. В. Гонтарева // Економіка розвитку. – 2011. – № 2 (58). – С. 71–75.
12. Zhang, H. Research on the Measurement of Enterprise Technological Innovation Capability Model based on Information Axiom [Текст] / H. Zhang // International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering. – 2014. – Vol. 9, Issue 7. – P. 319–332. doi: 10.14257/ijmue.2014.9.7.27
13. Heng, T. The Empirical Analysis of enterprise Scientific and Technological Innovation Capability [Text] / T. Heng // Energy Procedia. – 2011. – Vol. 5. – P. 1258–1263. doi: 10.1016/j.egypro.2011.03.219
14. Положення з атестації підприємств з обслуговування та ремонту тягового рухомого складу [Текст]: ЦТ-0162. – Затв. наказом Укрзалізниці № 484-Ц від 10.10.07 – Вид. офіц. – Київ: Укрзалізниця. 2007 – 244 с.
15. Формализация экспертных оценок при аттестации локомотиворемонтных производств [Текст]: матер. I междунар. науч.-практ. конф. – Москва: ТМХ-Сервис, 2014. – 368 с.
16. Морозова, Н. М. Организационные принципы выполнения работ по сезонному техническому обслуживанию и хранению зерноуборочных комбайнов [Текст] / Н. М. Морозова // Известия ТулГУ. – 2011. – № 5 (3). – С. 299–303.
17. Шемякин, А. В. Детерминальная модель хранения сельскохозяйственной техники [Текст] / А. В. Шемякин, Е. М. Астахова, С. А. Бохуленков // Сборник научных трудов молодых ученых Рязанской ГСХА. – 2005. – С. 137–139.
18. Новиков, В. А. FMEA-анализ критичности процесса «Техническое обслуживание технологического оборудования» [Текст] / В. А. Новиков, А. И. Гришин // Менеджмент. – 2012. – № 6 (97). – С. 37–41.
19. Галиев, И. Г. Определение весомости технологических операций и уровня расхода ресурса агрегатов и систем трактора [Текст] / И. Г. Галиев, В. А. Новиков, А. И. Гришин // Вестник Казанского ГАУ. – 2012. – № 3 (25). – С. 73–77.
20. Кеда, Д. П. Системный подход в определении сложности технологических операций [Текст] / Д. П. Кеда, С. Л. Исаков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2009. – № 1-2. – С. 71–76.
21. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб. : Политехника, 2000. – 248 с.
22. Серебровский, А. Н. Методические и вычислительные аспекты значимости риска компонентов сложных систем [Текст] / А.Н. Серебровский // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 145–154.
23. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М. : Радио и связь, 1981. – 264 с.
24. Henley, E. J. Reliability Engineering and Risk Assessment [Text] / E. J. Henley, H. Kumamoto. – Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall, 1981. – 568 p.
25. O'Connor P. Practical Reliability Engineering [Text] / P. O'Connor, D. Newton, R. Bromley. – John Wiley & Sons, 2002. – 513 p.
26. Тартаковский, Э. Применение экспертных методов для оценки организационно-технического уровня локомотиворемонтных предприятий [Текст] / Э. Тартаковский, В. Пузырь, Ю Дацун // Transport problems. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 87–91.