

УДК 629.4.027:656.071.8

С. В. МЯМЛІН^{1*}, Л. А. МУРАДЯН^{2*}, О. А. ШИКУНОВ^{3*}, І. В. ПІЩЕНКО^{4*}

^{1*}Філія «Центр діагностики залізничної інфраструктури», АТ «Укрзалізниця», вул. Святошинська, 13, Київ, Україна, 03115, тел. +38 (044) 309 74 06, ел. пошта sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

^{2*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 233 19 35, ел. пошта leontymuradian@gmail.com, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{3*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 233 19 35, ел. пошта tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0002-8256-2634

^{4*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 233 19 35, ел. пошта irinapit95@gmail.com, ORCID 0000-0002-5674-0337

Вплив технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів на ризики їх відмов

Мета. Основною метою нашого дослідження є виявлення взаємозв'язку ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів та успішності процесу виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту. Для цього необхідно з'ясувати послідовність розрахунку величин успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, виконати розрахунки на прикладі вагоноремонтних підприємств регіональної філії «Придніпровська залізниця» і виявити залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів і процесу успішного виконання поставленого завдання. **Методика.** У роботі побудовано взаємозалежності ймовірностей виконання та невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів. При цьому представлено послідовність розрахунку статичних ймовірнісних оцінок успішного виконання та невиконання поставленого завдання, статичних оцінок середнього часу відхилення та основного часу успішного виконання, а також інтенсивності успішного виконання завдання. **Результати.** Отримані статистичні дані успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів по регіональній філії «Придніпровська залізниця» та результати їх емпіричного розподілу впродовж періоду, що дорівнює 90 діб, показали, що величина вибіркового середнього складає 24,1078 вагонів, вибіркова дисперсія дорівнює 3,28 вагонів, значення середньоквадратичного відхилення складає 1,81 вагонів, а коефіцієнт варіації дорівнює 0,075 вагонів. Також встановлено вплив діагностики на ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації після виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту. **Наукова новизна.** На основі статистичної обробки експериментальних даних уперше проведено емпіричний розподіл статистичних величин успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, що дозволяє розрахувати показники надійності буксових вузлів. Уперше отримано залежність проведення діагностики буксових вузлів від ймовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, що дозволить зменшити величину ризиків відмов в разі успішного виконання завдання. **Практична значимість.** Застосування діагностики буксових вузлів вантажних вагонів під час технічного обслуговування й ремонту дозволить знизити в 2...4,5 рази величину ризику відмов.

Ключові слова: безпека руху поїздів; ризики; буксовий вузол; діагностика; вантажні вагони; залізничний транспорт

Вступ

Залізничний транспорт на внутрішньому ринку надає значну частину послуг, пов'язаних з організацією та забезпеченням процесу перевезення вантажів і пасажирів. Одним із головних завдань залізничного транспорту, а також важливою складовою його ефективної роботи й розвитку є забезпечення безпеки руху, на яку, як відомо, безпосередньо впливає надійність елементів рухомого складу та технічних засобів інфраструктури.

Після здобуття незалежності Україна як одна з небагатьох країн колишнього Радянського Союзу отримала у спадок добре розвинену залізничну інфраструктуру та її відносно нормальне матеріально-технічне оснащення. Проте перехід до ринкової економіки і специфічні внутрішні особливості розвитку країни вимагали швидкого пристосування та зміни організаційної структури управління, а отже, реформування українських залізниць. Через відсутність кардиналь-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

них змін протягом 15 років (1991–2006 рр.) залізничний транспорт продовжував працювати за старими організаційно-технологічними принципами, які не відповідали сучасним світовим тенденціям організації ефективної роботи залізничного транспорту, що ускладнювало його технологічний розвиток. Тому і й сьогодні головним залишається забезпечення необхідного рівня безпеки руху.

Успішне вирішення завдання із забезпечення необхідного рівня безпеки руху на залізничному транспорті полягає в підтримці належного технічного стану та показників надійності, у першу чергу вагонного парку, оскільки українські залізниці здебільшого виконують перевезення масових вантажів. Безпека руху при цьому може бути оцінена ризиками можливих відмов вантажних вагонів після виконання технічного обслуговування та ремонту. Забезпечити низькі значення ризиків у процесі експлуатації залізничного транспорту після технічного обслуговування та ремонту можна належним діагностуванням вантажних вагонів, оскільки вони складають найбільшу частину з усього рухомого складу під час вантажних перевезень.

Інформація про відмови елементів вантажних вагонів, що виникають у процесі експлуатації, являє собою деякий набір статистичних даних, за якими можна провести аналіз цих відмов. Отже, зі статистичної інформації про відмови елементів вантажних вагонів відомо, що найбільша їх частка припадає на буксові вузли.

У свою чергу, з аналізу відмов буксових вузлів вантажних вагонів можна встановити, що майже всі вони пов'язані з неякісно проведеним ремонтом і технічним обслуговуванням, на що істотно впливає недотримання технології, зокрема і людський фактор. Для зниження ризиків, які допускають під час ремонту й технічного обслуговування вантажних вагонів, необхідно застосувати методи та засоби технічного діагностування буксових вузлів із подальшим розрахунком ризиків для оцінки безпеки руху на залізничному транспорті.

Дослідження, наведені в цій роботі, стосуються галузі залізничного транспорту, а саме технології ремонту й безпеки руху.

Питанням безпеки руху на залізничному транспорті та можливим шляхам її підвищення, присвячені праці таких науковців, як Е. М. Сокол, І. Е. Мартинов, О. Й. Соколов, А. В. Батіг,

О. Ф. Лужицький, О. М. Возняк, Я. В. Болжеларський, Б. Є. Боднар, А. А. Босов, Т. В. Бутько, М. І. Капіца, В. В. Мямлін, Е. Д. Тартаковський, М. Б. Кельрих, В. М. Бубнов, В. П. Ткаченко, А. О. Ловська, О. В. Фомін, Д. М. Барановський та багатьох ін. Серед закордонних учених питаннями визначення та прогнозування стану безпеки руху на залізницях займалися M. Patil, R. D. Shinde, Yu Lu, A. Miller, Chris Johnson, Tingdi Zhao, P. Smoczyński, A. Kadziński, R. Licciardello, A. Baldassarra, P. Vitali, A. Tieri, M. Cruciani, A. N. Vasile, M. M. Rekabi, R. M. Houdijk, M. Sasidharan, M. Burrow, G. Ghataora та ін.

Визначенню та класифікації ризиків на залізничному транспорті з їх оцінкою і прогнозуванням присвячені праці таких вітчизняних науковців, як: Л. О. Бакаєв, І. О. Ткаченко, О. В. Розсоха, А. В. Рачинська, О. І. Почечун, О. І. Панченко, О. Б. Кривенко, О. О. Карась, Ю. Коноваленко, К. В. Журавель, І. Совтус, М. Корнійчук, В. В. Березуцький, М. Д. Кацман, М. І. Адаменко, та закордонних науковців: A. Stažnik, D. Babić, I. Bajor, A. Otto, P. Kellermann, A. H.Thieken, M. Mánhez Costa, M. Carmona, P. Bubeck, A. Berrado, B. Leitner, E. M. Figueres, P. Hughes, C. Gulijk, J. Grenčík, R. Poprocký, J. Galliková, P. Volna, H. Hadj-Mabrouk, A. Jamshidi, S. Faghieh-Roohi, Z. Li, A. Núñez, S. Hajizadeh, R. Babuška, R. Dollevoet, B. D. Schutter, J. M. Andrić, J. Wang, Q. Li, R. Zhong, J. Zhang, Q. Sun, M. Ann, W. Lin, Oz Ma, T. Eskandari.

У роботах [3, 4, 6] наведено методики аналізу дерева відмов для оцінки безпеки руху. Такі методики використовують для підвищення ефективності технічного обслуговування рухомого складу залізниць і зниження ризиків. Деякі роботи [12, 16, 21] представляють поліпшені методики аналізу дерева відмов для прийняття рішень.

У [10, 13, 15, 19] наведено моделі визначення ризику для оцінки безпеки руху. Отримані в роботах [13, 19] результати базуються на сценаріях аварій з урахуванням людського фактора. У [10, 15] до оцінки ризиків було залучено експертів і використано метод експертних оцінок. Автори [1, 8] розглядають безпеку руху, пов'язану з процесами технічного обслуговування елементів транспортної системи.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

У [2, 20] наведено систему ідентифікації ризиків на залізничному транспорті. У [7, 11] для оцінки безпеки використано ймовірність відмов рейок як інфраструктурної складової безпеки руху. У [17] застосовано метод експлуатаційної надійності для оцінки безпеки руху. У [18] розглянуто системи електропостачання залізниці як критичні для безпеки руху транспорту. Аналіз ризиків

у роботі [5] надав можливість використовувати стохастичні методи оцінки безпеки руху. У [9] представлено методи оцінки ризиків і можливості підвищення безпеки руху під час проектування, експлуатації та технічного обслуговування транспортних засобів залізниць. Особливу увагу приділено конструкціям вантажних вагонів і їх впливу на безпеку руху. У роботах [14, 20] безпеку руху описано за допомогою матриць ризиків.

Оскільки АТ «Українська залізниця» має на меті реформування та імплементацію вимог законодавства ЄС, діагностика буксових вузлів вантажних вагонів у процесі технічного обслуговування й ремонту для зниження ризиків на залізничному транспорті є актуальним прикладним науково-технічним завданням.

Мета

Основною метою дослідження є виявлення взаємозв'язку ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів та успішності процесу виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту. Для цього необхідно з'ясувати послідовність розрахунку величин успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, провести розрахунки на прикладі вагоноремонтних підприємств регіональної філії «Придніпровська залізниця» і виявити залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів і процесу успішного виконання поставленого завдання.

Методика

Позначимо виконання завдання працівником із технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів вантажних вагонів як x , а всіх інших елементів – як y . Відомо, що працівник може виконати завдання правильно або неправильно. Таким чином, виконані неправильно завдання –

це помилки, що виникають у певній технологічній ситуації.

Запишемо формулу ймовірності успішного виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів вантажних вагонів:

$$P_s = P_x(1 - P_h)P_y, \quad (1)$$

де P_x – ймовірність успішного виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів вантажних вагонів; P_h – ймовірність допущеної помилки в результаті впливу людського фактора; P_y – ймовірність успішного виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів.

Формулу ймовірності невиконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів вантажних вагонів, яка буде відповідати ризикам відмов, запишемо в такому вигляді:

$$R = P_F = 1 - P_x(1 - P_h)P_y. \quad (2)$$

Із наведених формул (1) і (2) можна зробити висновок про єдиний спосіб успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, що полягає в успішному виконанні завдань x , y і зниженні впливу людського фактора.

Ймовірність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, позначену через P_y , доповнимо залежністю від часу – $P(t)$. Останній показник має такі властивості:

- $P(t) = 1$ – успішне виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів;
- $P(t)$ – незростаюча функція часу;
- $\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 0$ – невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів.

Оскільки ймовірність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів $P(t)$ і ймовірність його невиконання є взаємно протилежними подіями, оцінку ймовірності невиконання

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів можна визначити за залежністю:

$$F(t) = 1 - P(t). \quad (3)$$

При цьому для функції $F(t)$ мають місце співвідношення:

$$0 \leq F(t) \leq 1; \quad F(0) = 0; \quad F(\infty) = 1. \quad (4)$$

Ймовірність невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів $F(t)$ – це ймовірність того, що в межах заданого проміжку часу завдання не буде виконано.

Наочно продемонструвати взаємозалежності ймовірностей виконання та невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів можна за допомогою графіка на рис. 1.

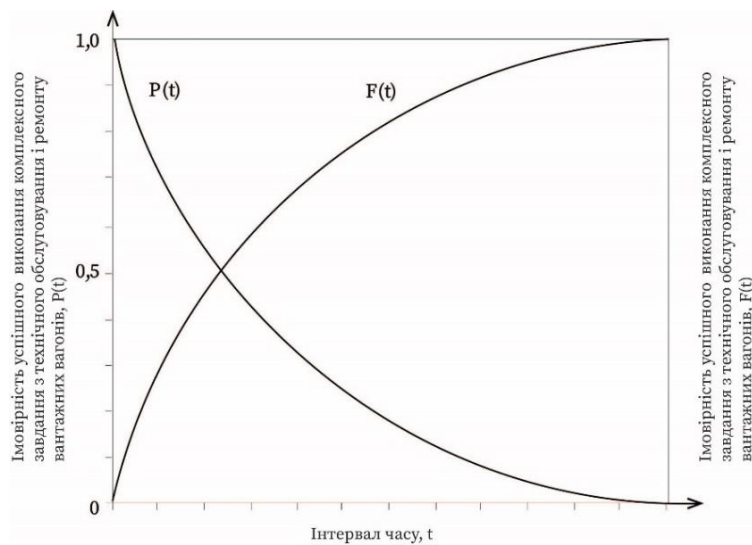


Рис. 1. Взаємозалежності ймовірностей виконання та невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів

Fig. 1. Interdependence of the probabilities of performing and non-performing of a complex task of maintenance and repair of freight cars

Ймовірність невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів $F(t)$ характеризує ймовірність того, що випадковий інтервал часу виконання T менший за заданий інтервал часу t ($t \geq T$). Під T необхідно розуміти безперервну випадкову величину, для якої існує щільність розподілу часу успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів:

$$f(t) = q(t) = \frac{d}{dt} Q(t), \quad (5)$$

де $Q(t)$ – функція розподілу часу невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, яка збігається з функцією $F(t)$:

$$Q(t) = F(t) = \int_0^t q(t) dt. \quad (6)$$

Статистичну ймовірнісну оцінку успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів $\bar{P}(t)$ визначають за допомогою формули [2, 18]:

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (7)$$

де N_0 – кількість успішно виконаних комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів; $n(t)$ – кількість невиконаних комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів за інтервал часу t .

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Статистичну ймовірнісну оцінку невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів $\bar{F}(t)$ визначають на основі формули [14, 21]:

$$\bar{F}(t) = 1 - \bar{P}(t) = \frac{n(t)}{N_0}. \quad (8)$$

Графічна залежність розподілу функції $f(t)$ наведена на рис. 2.

Статистично визначити щільність імовірності $\bar{f}(t)$ можна за допомогою формули [3, 18]:

$$\bar{f}(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (9)$$

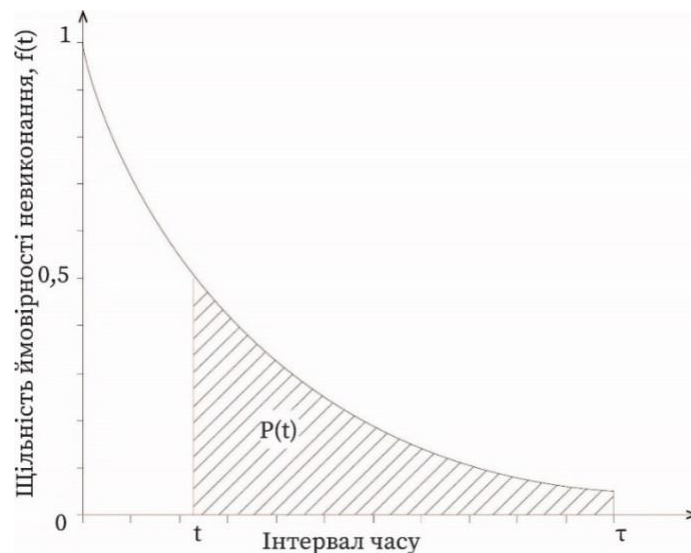


Рис. 2. Графічна залежність розподілу функції $f(t)$ під час першого невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів

Fig. 2. Graphical dependence of the function distribution $f(t)$ during the first non-performing the complex task of maintenance and repair of freight cars

Середній час відхилення виконання комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів T_{cp} – математичне очікування виконання комплексних завдань з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів:

де $n(\Delta t)$ – кількість невиконаних комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів в інтервалі часу Δt .

Тоді можна записати такі вирази:

– для ймовірності невиконання комплексних завдань із технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів:

$$F(t) = Q(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau; \quad (10)$$

– для ймовірності виконання комплексних завдань із технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau. \quad (11)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = -t \cdot P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (12)$$

де t – час виконання комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів.

Статистичну оцінку середнього часу відхилення виконання комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів можна визначити за допомогою формули:

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad (13)$$

де t_i – час виконання комплексних завдань за i -м технічним обслуговуванням і ремонтом вантажних вагонів.

Основний час успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів – це відношення інтервалу часу успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів до математичного сподівання кількості невиконаних комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів у певний інтервал часу:

$$T_0 = \frac{t}{M[n(t)]}, \quad (14)$$

де $M[n(t)]$ – математичне сподівання кількості невиконаних комплексних завдань із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів у певний інтервал часу t .

Статистичну оцінку основного часу успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів можна визначити за формулою:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{cpi}, \quad (15)$$

де t_{cpi} – час успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів; n – кількість технічних обслуговувань і ремонтів вантажних вагонів.

Інтенсивність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів – це умовна щільність ймовірності його успішного виконання, яку визначають для певного моменту часу за умови, що до цього моменту все виконано вчасно:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\frac{d}{dt} F(t)}{P(t)} =$$

$$= \frac{\frac{d}{dt}(1-P(t))}{P(t)} = -\frac{dP(t)}{P(t) dt} \quad (16)$$

Інтенсивність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів показує, скільки вагонів не було охоплено в інтервалі часу відносно середнього числа вантажних вагонів, що підлягають технічному обслуговуванню та ремонту.

Результати

Проведені статистичні дослідження на базі регіональної філії «Придніпровська залізниця» АТ «Укрзалізниця» дозволяють побудувати статистичний розподіл для величин успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів по регіональній філії «Придніпровська залізниця» протягом періоду, що дорівнює 90 діб.

Отримані статистичні дані успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів по регіональній філії «Придніпровська залізниця» та результати їх емпіричного розподілу наведені в табл. 1.

Для проведення розрахунку вибіркового середнього $M^*[N]$ використано таку формулу:

$$M^*[N] = \sum_{i=1}^k \bar{N}_i \times p_i^*, \quad (17)$$

де \bar{N}_i – випадкова величина в i -му інтервалі; p_i^* – значення емпіричної ймовірності (частоти) випадкової величини відносно \bar{N}_i , що можна встановити за формулою:

$$p_i^* = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^k h_i}, \quad (18)$$

У якій h_i – кількість спостережень випадкової величини \bar{N}_i в розряді; $\sum_{i=1}^k h_i$ – сумарне число спостережень; i – порядковий номер розряду ($i = 1, 2, \dots, k$).

Таблиця 1

Результати емпіричного розподілу статистичних даних успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів по регіональній філії «Придніпровська залізниця»

Table 1

The results of the empirical distribution of statistical data on the successful performing of a complex task of maintenance and repair of freight cars in the Prydniprovskya Railway regional branch

№ п/п	Розряди, $N_i - N_{i+1}$	Середні значення, \bar{N}_i	Кількість спостережень, h_i	Емпірична ймовірність, p_i^*	$\bar{N}_i \times p_i^*$	$\bar{N}_i^2 \times p_i^*$
1	20–21	20,5	5	0,04902	1,004902	20,60049
2	21–22	21,5	10	0,098039	2,107843	45,31863
3	22–23	22,5	11	0,107843	2,426471	54,59559
4	23–24	23,5	23	0,22549	5,29902	124,527
5	24–25	24,5	22	0,215686	5,284314	129,4657
6	25–26	25,5	12	0,117647	3,00000	76,5
7	26–27	26,5	14	0,137255	3,637255	96,38725
8	27–28	27,5	5	0,04902	1,348039	37,07108
Усього	–	–	102	1,00000	24,1078	584,466

Для вказаних емпіричних рядів величина успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів по регіональній філії «Придніпровська залізниця»:

1) $M^*[N]$ дорівнює 24,1078 вагонів (табл. 1)

Вибіркову дисперсію $D^*[N]$ визначено за формулою:

$$D^*[N] = \sum_{i=1}^k \bar{N}_i^2 \times p_i^* - (M^*[N])^2. \quad (19)$$

2) $D^*[N]$ складе 3,28 вагонів.

Значення середньоквадратичного відхилення σ_N^* розраховано за формулою:

$$\sigma_N^* = \sqrt{D^*[N]}. \quad (20)$$

3) σ_N^* дорівнює 1,81 вагонів.

Оцінку коефіцієнта варіації $\vartheta(N)$ виконано за формулою:

$$\vartheta(N) = \frac{\sigma_N^*}{M^*[N]}. \quad (21)$$

$\vartheta(N)$ складає 0,075 вагонів.

Для опису ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів на основі вище наведеного будемо вважати, що розподілення успішного виконання комплексного завдання є нормальним. Щоб зменшити кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів, які виникають через проведення неякісного ремонту й технічного обслуговування, можна застосовувати методи й засоби діагностики. Для діагностики буксових вузлів вантажних вагонів пропонуємо використовувати їх вібраційні характеристики. А для усунення впливу людського фактора пропонуємо повністю усунути вплив оператора на висновки діагностичного процесу. Тоді ризик відмов буксових вузлів вантажних вагонів (2) з урахуванням застосування діагностики ($P_h = 0$) будемо розраховувати за формулою:

$$R = 1 - P_x P_y. \quad (22)$$

На основі формул (2) і (22) побудуємо залежності ризиків від імовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів вантажних вагонів (рис. 3).

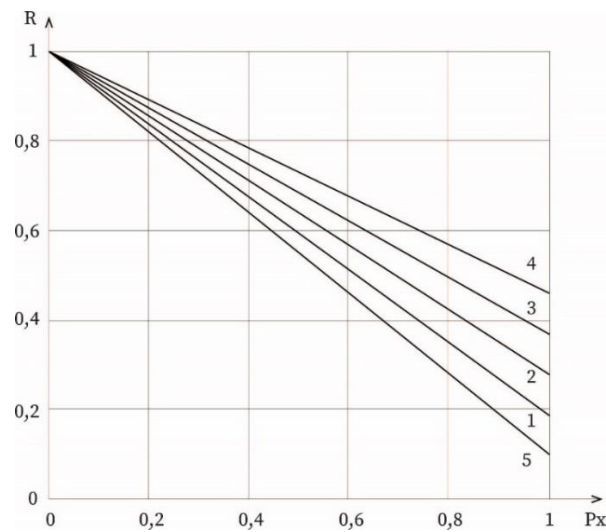


Рис. 3. Залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів від імовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту:

$$1 - P_h = 0,1; 2 - P_h = 0,2; 3 - P_h = 0,3; 4 - P_h = 0,4; 5 - P_h = 0$$

Fig. 3. Dependencies of the risks of failure of the axle boxes of freight cars on the probability of performing the set maintenance and repair task:

$$1 - P_h = 0,1; 2 - P_h = 0,2; 3 - P_h = 0,3; 4 - P_h = 0,4; 5 - P_h = 0$$

З огляду на наведені залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів можемо стверджувати, що застосування діагностики під час технічного обслуговування й ремонту дозволить знизити величину ризиків у 2...4,5 рази за умови успішного виконання поставленого завдання.

Наукова новизна та практична значимість

У результаті статистичної обробки експериментальних даних регіональної філії «Придніпровська залізниця» вперше отримано емпіричний розподіл статистичних даних успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, що, у свою чергу, дозволить розрахувати ризики відмов буксових вузлів під час експлуатації після проведення технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів.

Уперше отримано залежності на ризиків відмов буксових вузлів від імовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, що дозволить зменшити величину ризиків відмов за умови успішного виконання поставленого завдання.

Застосування діагностики буксових вузлів вантажних вагонів під час технічного обслуговування й ремонту сприятиме зниженню величини ризику відмов у 2...4,5 рази у випадку успішного виконання поставленого завдання, що підтверджено на прикладі регіональної філії «Придніпровська залізниця».

Висновки

У роботі представлено послідовність розрахунку величин успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів.

Отримані статистичні дані успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів по регіональній філії «Придніпровська залізниця» АТ «Укрзалізниця» та результати їх емпіричного розподілу впродовж періоду, що дорівнює 90 днів, показали, що величина вибіркового середнього $M^*[N]$ складає 24,1078 вагонів, вибіркова дисперсія $D^*[N]$ дорівнює 3,28 вагонів, значення середньоквадратичного відхилення σ_N^* складає 1,81 вагонів, а коефіцієнт варіації $\vartheta(N)$ має значення 0,075 вагонів.

Також встановлено вплив діагностики на ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

під час експлуатації після виконання поставленого завдання з технічного обслуговування й ремонту. У разі застосування діагностики буксових вузлів вантажних вагонів під час технічного

обслуговування й ремонту можна знизити величину ризиків відмов у 2...4,5 рази за умови успішного виконання поставленого завдання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Бабенко А. О., Шовкун В. О. До питання забезпечення безпеки руху у пасажирському господарстві. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2020. № 190. С. 55–66. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.190.2020.214169>
2. Baranovskyi D., Muradian L., Bulakh M. The Method of Assessing Traffic Safety in Railway Transport. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 666. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042075>
3. Dindar S., Kaewunruen S., An M., Gigante-Barrera A. Derailment-based Fault Tree Analysis on Risk Management of Railway Turnout Systems. *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 245. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042020>
4. Budde C. E., Ruijters E., Stoelinga M. The dynamic fault tree rare event simulator. *Quantitative Evaluation of Systems. QEST 2020*. 2020. Vol. 12289. P. 233–238. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-59854-9_17
5. Gerlici J., Nozhenko O., Cherniak G., Gorbunov M., Domin R., Lack T. The development of diagnostics methodological principles of the railway rolling stock on the basis of the analysis of dynamic vibration processes of the rail. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 157. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703007>
6. Ghabhab M., Junges S., Katoen J.P., Kuntz M., Volk M. Safety analysis for vehicle guidance systems with dynamic fault trees. *Reliability engineering & system safety*. 2019. Vol. 186. P. 37–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.02.005>
7. Cheng L., Wang J., Peng Y. Research on risk assessment of high-speed railway operation based on network ANP. *Smart and Resilient Transport*. 2021. Vol. 3. Iss. 1. P. 37–51. DOI: <https://doi.org/10.1108/SRT-10-2020-0024>
8. Gill A., Smoczyński P. Optimization of Safety System Structures in Railway Transport. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 19. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131910700>
9. Grenčík J., Poprocký R., Galliková J., Volna P. Use of risk assessment methods in maintenance for more reliable rolling stock operation. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 157. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815704002>
10. Grigorovskiy P., Terentyev O., Mikautadze R. Development of the technique of expert assessment in the diagnosis of the technical condition of buildings. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 2. Iss. 2 (40). P. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128548>
11. Jamshidi A., Faghih-Roohi S., Hajizadeh S., Núñez A., Babuška R., Dollevoet R., Li, Z., Schutter B. D. A Big Data Analysis Approach for Rail Failure Risk Assessment. *Risk Analysis*. 2017. Vol. 37. Iss. 8. P. 1495–1507. DOI: <https://doi.org/10.1111/risa.12836>
12. Junges S., Katoen J. P., Stoelinga M., Volk M. One net fits all: a unifying semantics of dynamic fault trees using GSPNs. *Petri Nets*. 2018. P. 272–293. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91268-4_14
13. Leitner B. A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 150–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.361>
14. Manafov E. The Use of a Fuzzy Expert System to Increase the Reliability of Diagnostics of Axle Boxes of Rolling Stocks. *Scientific Journal of Silesian University of Technology—Series Transport*. 2020. Vol. 107. P. 95–106. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2020.107.7>
15. Matusevich O., Matusevych O., Bobyl V., Chornovil O. Railway transport risk management and insurance. *Financial and credit activity—Problems of theory and practice*. 2018. Vol. 2. Iss. 25. P. 128–138. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i25.136479>
16. Muradyan L. A., Pitsenko I. V., Shaposhnik V. Yu. Predictive model of risks in railway transport during diagnostics of axle boxes of freight cars. *Science and Transport Progress*. 2021. No 1 (91). P. 94–103. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2021/230223>

17. Okorokov A., Fomin V., Lovska A., Vernigora R., Zhuravel I. Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3. Iss. 7 (93). P. 20–26.
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>
18. Oz M., Kaymakci O., Koyun A. A safety related perspective for the power supply systems in railway industry. *Eksploatacja i Niezawodnosc–Maintenance and Reliability*. 2017. Vol. 19. Iss. 1. P. 114–120.
DOI: <https://doi.org/10.17531/ein.2017.1.16>
19. Shaposhnik, V. Yu. Human Factor Influence on Performing Technical Maintenance and Repair of Freight Cars. *Science and Transport Progress*. 2018. No 6 (78). P. 165–175.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/154031>
20. Stažnik A., Babić D., Bajor I. Identification and analysis of risks in transport chains. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017. Vol. 15. Iss. 1. P. 61–70. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes15-12179>
21. Volk M., Junges S., Katoen J. P. Fast dynamic fault tree analysis by model checking techniques. *IEEE Transaction Industrial Informatics*. 2018. Vol. 14. Iss. 1. P. 370–379. DOI: <https://doi.org/10.1109/tii.2017.2710316>

S. V. MYAMLIN^{1*}, L. A. MURADIAN^{2*}, O. A. SHYKUNOV^{3*}, I. V. PITSENKO^{4*}

^{1*}Branch «Diagnostics Center of Railway Infrastructure», Ukrainian Railway JSC, Sviatoshinska St., 13, Kyiv, Ukraine, 03115, tel. +38 (044) 309 74 06, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

^{2*}Dep. «Cars and Car Facilities», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 233 19 35, e-mail Leontymuradian@gmail.com, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{3*}Dep. «Cars and Car Facilities», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 233 19 35, e-mail Leontymuradian@gmail.com, ORCID 0000-0002-8256-2634

^{4*}Dep. «Cars and Car Facilities», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 233 19 35, e-mail irinapit95@gmail.com, ORCID 0000-0002-5674-0337

Influence of Maintenance and Repair of Axle Boxes on the Risks of Their Failure

Purpose. The main purpose of the study is to identify the interconnection between the risks of failure of axle boxes of freight cars and the success of performing a complex task of maintenance and repair. To do this, one should identify the sequence of calculating the values of successful completion of the complex task of maintenance and repair of freight cars, make practical calculations using the example of car repair companies of Prydniprovskaya Railway regional branch and identify the dependencies of failure risks of the freight cars and the process of successful completion of the task. **Methodology.** The paper constructs the interconnections of the probabilities of performing and not performing a complex task of maintenance and repair of freight cars. In addition, the calculation sequence of static probability estimates of successful performing and not performing of the set task, static estimates of the average deviation time and the main time of successful performing, as well as its intensity is presented. **Findings.** The obtained statistical data of the effective implementation of the complex task of maintenance and repair of freight cars at Prydniprovskaya Railway regional branch and the results of their empirical distribution throughout a period of 90 days, showed that the sample average is 24.1078 cars, the sample variance is 3.28 cars, the value of the standard deviation is 1.81 cars, and the coefficient of variation is 0.075 cars. The influence of diagnostics on the failure risks of axle boxes of freight cars during operation after fulfilling the task of maintenance and repair is also established. **Originality.** Based on statistical processing of experimental data, for the first time an empirical distribution of statistical data of successful completion of a complex task of maintenance and repair of freight cars was performed, which allows calculating the reliability indicators of axle boxes after maintenance and repair of freight cars. For the first time, the dependence of axle boxes diagnostics on the risk of failure of performing the task of maintenance and repair of freight cars is received, which will allow reducing the risk of failure if the task is successfully completed. **Practical value.** The use of diagnostics of axle boxes of freight cars during maintenance and repair can reduce the risk of failure by 2... 4.5 times.

Keywords: train traffic safety; risks; axle box; diagnostics; freight cars; railway transport

REFERENCES

1. Martynov, I. E., Trufanova, A. V., Babenko, A. O., & Shovkun, V. O. (2020). Analysis of directions for improving the reliability of passenger rolling stock. *Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 190, 55-66. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.190.2020.214169> (in Ukrainian)

2. Baranovskyi, D., Muradian, L., & Bulakh, M. (2021). The Method of Assessing Traffic Safety in Railway Transport. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 666, pp. 1-6). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042075> (in English)
3. Dindar, S., Kaewunruen, S., An, M., Gigante-Barrera, A. (2017). Derailment-based Fault Tree Analysis on Risk Management of Railway Turnout Systems. In *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 245, pp. 1-9). DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042020> (in English)
4. Budde, C. E., Ruijters, E., & Stoelinga, M. (2020). The dynamic fault tree rare event simulator. In *Evaluation of Systems. QEST 2020* (Vol. 12289, pp. 233-238). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-59854-9_17 (in English)
5. Gerlici, J., Nozhenko, O., Cherniak, G., Gorbunov, M., Domin, R., & Lack, T. (2018). The development of diagnostics methodological principles of the railway rolling stock on the basis of the analysis of dynamic vibration processes of the rail. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 157, pp. 1-8). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703007> (in English)
6. Ghadhab, M., Junges, S., Katoen, J. P., Kuntz, M., & Volk, M. (2019). Safety analysis for vehicle guidance systems with dynamic fault trees. *Reliability engineering & system safety*, 186, 37-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.02.005> (in English)
7. Cheng, L., Wang, J., & Peng, Y. (2021). Research on risk assessment of high-speed railway operation based on network ANP. *Smart and Resilient Transport*, 3(1), 37-51. DOI: <https://doi.org/10.1108/SRT-10-2020-0024> (in English)
8. Gill, A., & Smoczyński, P. (2021). Optimization of Safety System Structures in Railway Transport. *Sustainability*, 13(19), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131910700> (in English)
9. Grenčík, J., Poprocký, R., Galliková, J., & Volna, P. (2018). Use of risk assessment methods in maintenance for more reliable rolling stock operation. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 157, pp. 1-9). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815704002> (in English)
10. Grigorovskiy, P., Terentyev, O., & Mikautadze, R. (2017). Development of the technique of expert assessment in the diagnosis of the technical condition of buildings. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2(40)), 10-15. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128548> (in English)
11. Jamshidi, A., Faghih-Roohi, S., Hajizadeh, S., Núñez, A., Babuška, R., Dollevoet, R., Li, Z., & Schutter, B. D. (2017). A Big Data Analysis Approach for Rail Failure Risk Assessment. *Risk Analysis*, 37(8), 1495-1507. DOI: <https://doi.org/10.1111/risa.12836> (in English)
12. Junges, S., Katoen, J. P., Stoelinga, M., & Volk, M. (2018). One net fits all: a unifying semantics of dynamic fault trees using GSPNs. In *Petri Nets* (pp. 272-293). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91268-4_14 (in English)
13. Leitner, B. (2017). A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis. *Procedia Engineering*, 187, 150-159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.361> (in English)
14. Manafov, E. (2020). The Use of a Fuzzy Expert System to Increase the Reliability of Diagnostics of Axle Boxes of Rolling Stocks. *Scientific Journal of Silesian University of Technology-Series Transport*, 107, 95-106. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2020.107.7> (in English)
15. Matusevich, O., Matusevych, O., Bobyl, V., & Chornovil, O. (2018). Railway transport risk management and insurance. *Financial and credit activity-Problems of theory and practice*, 2(25), 128-138. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i25.136479> (in English)
16. Muradyan, L. A., Pitsenko, I. V., & Shaposhnik, V. Yu. (2021). Predictive model of risks in railway transport during diagnostics of axle boxes of freight cars. *Science and Transport Progress*, 1(91), 94-103. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2021/230223> (in English)
17. Okorokov, A., Fomin, V., Lovska, A., & Vernigora, R., (2018). Zhuravel I. Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(7(93)), 20-26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309> (in English)
18. Oz, M., Kaymakci, O., & Koyun, A. (2017). A safety related perspective for the power supply systems in railway industry. *Eksplatacja i Niezawodność–Maintenance and Reliability*, 19(1), 114-120. DOI: <https://doi.org/10.17531/ein.2017.1.16> (in English)
19. Shaposhnik, V. Yu. (2018). Human Factor Influence on Performing Technical Maintenance and Repair of Freight Cars. *Science and Transport Progress*, 6(78), 165-175. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/154031> (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

20. Stažnik, A., Babić, D., & Bajor, I. (2017). Identification and analysis of risks in transport chains. *Journal of Applied Engineering Science*, 15(1), 61-70. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes15-12179> (in English)
21. Volk, M., Junges, S., & Katoen, J. P. (2018). Fast dynamic fault tree analysis by model checking techniques. In *IEEE Transaction Industrial Informatics* (Vol. 14, Iss. 1, pp. 370-379). DOI: <https://doi.org/10.1109/tii.2017.2710316> (in English)

Надійшла до редколегії: 19.11.2021

Прийнята до друку: 18.03.2022