

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.083-049.6

В. Ю. ШАПОШНИК^{1*}

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-649

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. У науковій роботі необхідно дослідити технічний стан вантажних вагонів під час їх експлуатації. Зазначена мета передбачає розв'язання таких завдань: 1) описати технічний стан вантажного вагона в період технічного обслуговування й ремонту; 2) з'ясувати залежності ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані протягом циклу існування; 3) уточнити вираз для коефіцієнта технічної готовності вагонного парку. **Методика.** Для досягнення поставленої мети автором були розглянуті методологічні підходи до визначення різних стадій життєвого циклу вантажного вагона. Система зміни й переходу технічного стану вантажного вагона описана за допомогою диференціальних рівнянь. **Результати.** У випадку неусталеного процесу зміни технічного стану вантажного вагона ймовірнісна характеристика відповідної стадії життєвого циклу залежить від величини часу. Інтенсивність вхідного й вихідного потоків корелюються між собою з урахуванням ймовірності перебування вантажного вагона на відповідній стадії його життєвого циклу. **Наукова новизна.** Переходи з одного життєвого циклу вагона в інший відбуваються стрибкоподібно, тобто таким переходам властивий випадковий процес. Ймовірність перебування вантажного вагона у відповідному життєвому циклі визначається його попереднім технічним станом. Загальна величина сукупності всіх можливих станів складається з ланцюга Маркова для випадкових процесів із випадковими станами й безперервним потоком часу. У результаті дослідження вперше отримана залежність ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані протягом циклу існування. **Практична значимість.** На основі отриманого визначення для ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані було уточнено вираз для коефіцієнта технічної готовності вагонного парку.

Ключові слова: вантажний вагон; надійність; життєвий цикл вагона; схема технічного стану; коефіцієнт технічної готовності; вагонний парк

Вступ

Основним завданням залізничного транспорту є забезпечення безперервного перевізного процесу, обов'язкова умова якого – безпека руху поїздів [9, 17]. Успішне виконання завдань, які стоять перед залізничним транспортом, потребує вдосконалення технічного рівня рухомого складу, впровадження сучасних високоефективних конструктивних рішень, матеріалів і технологій [12, 16, 18, 19]. Для підтримання високого технічного рівня вагонного парку необхідне впровадження сучасних технологій відновлення й підвищення зносостійкості деталей, удосконалення системи технічного обслуговування вагонів під час експлуатації [4, 8, 10, 13, 15]. Із впровадженням нових інформаційних технологій, які дають можливість автоматичної ідентифікації вагонів і їх окремих частин, навіть нормальну експлуатацію вагона можна розглядати в якості своєрід-

ного станда для випробувань на надійність [6, 11]. Аналіз публікацій із зазначеної проблеми вказує на необхідність проведення теоретичних досліджень процесу зміни технічного стану вантажних вагонів в експлуатації [1, 7, 14].

Мета

Основна мета роботи – дослідити процес зміни технічного стану вантажних вагонів в експлуатації. Для її досягнення необхідно: 1) описати технічний стан вантажного вагона під час виконання технічного обслуговування й ремонту; 2) з'ясувати залежності ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані протягом циклу існування; 3) уточнити вираз для коефіцієнта технічної готовності вагонного парку.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Методика

Вантажний вагон протягом терміну свого існування може перебувати на різних стадіях життєвого циклу:

- у початковому стані (дослідний зразок, який проходить приймальні випробування й має дослідний пробіг);
- у підконтрольній експлуатації;
- у справному робочому стані;
- на технічному обслуговуванні (ТО, ТОВ-1, ТОВ-2);
- на деповському ремонті (ДР);
- на капітальному ремонті (КР, КРП);
- на зберіганні;
- у справному неробочому стані (простоявання).

Переходи з одного життєвого циклу в інший відбуваються стрибкоподібно, тобто таким переходом властивий випадковий процес [2]. Імо-

вірність перебування вантажного вагона у відповідному життєвому циклі буде визначатись його попереднім технічним станом. Загальна величина сукупності всіх можливих станів складається з ланцюга Маркова для випадкових процесів із випадковими станами й безперервним потоком часу. У цьому випадку присутня деяка послідовність залежних технічних станів [3]. Сам перехід із одних технічних станів S_n в інші S_k протікає під дією відповідних потоків подій. Такими подіями виступають відмови чи відновлення.

Позначимо величину інтенсивності потоків відмов як λ , а величину інтенсивності потоків відновлень технічного стану вантажного вагона через μ .

Характеристику відповідного технічного стану вантажного вагона на певній стадії життєвого циклу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики технічного стану вантажного вагона протягом життєвого циклу

Стадія відповідного життєвого циклу	Позначення технічного стану, S	Величина інтенсивності відмов, λ	Величина інтенсивності відновлення технічного стану, μ
Вихідний (початковий) стан	S_o	-	-
Перебування в підконтрольній експлуатації	$S_{обк}$	-	$\mu_{обк}$
Перебування в робочому стані	S_p	-	-
Перебування на ТО	$S_{ТО}$	$\lambda_{ТО}$	$\mu_{ТО}$
Перебування на ТОВ-1	$S_{ТОВ-1}$	$\lambda_{ТОВ-1}$	$\mu_{ТОВ-1}$
Перебування на ТОВ-2	$S_{ТОВ-2}$	$\lambda_{ТОВ-2}$	$\mu_{ТОВ-2}$
Перебування в ДР	$S_{ДР}$	$\lambda_{ДР}$	$\mu_{ДР}$
Перебування в КР	$S_{КР}$	$S_{КР}$	$\mu_{КР}$
Перебування в КРП	$S_{КРП}$	$\lambda_{КРП}$	$\mu_{КРП}$
Знаходження на зберіганні	$S_{зб}$	$\lambda_{зб}$	$\mu_{зб}$
Простоювання	S_n	λ_n	μ_n

Для наведених технічних станів життєвого циклу вантажного вагона можна запропонувати

розмічену схему з відповідними переходами (рис. 1).

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

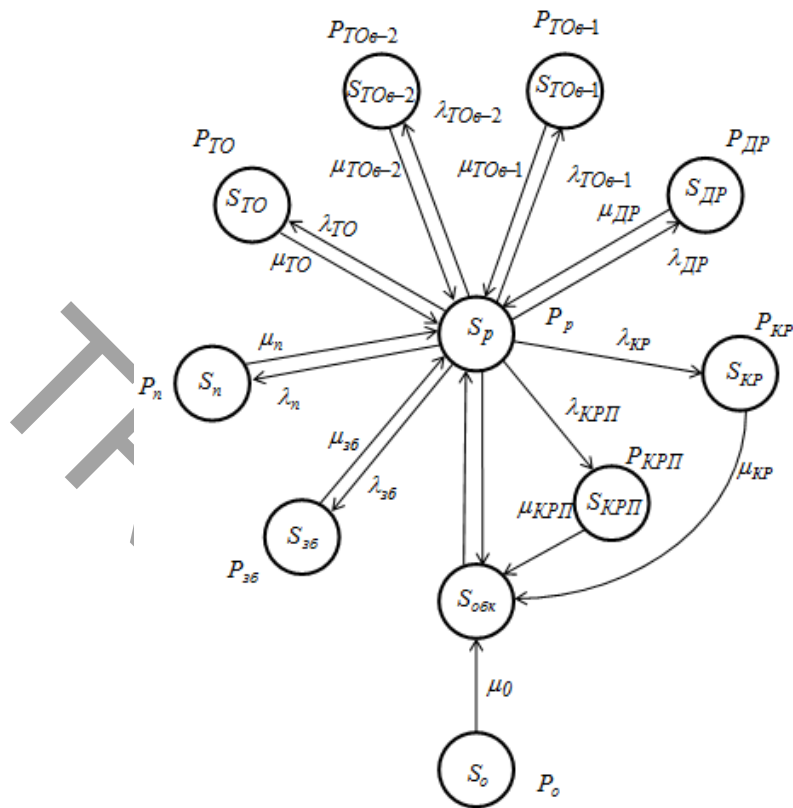


Рис. 1. Схема технічного стану вантажного вагона

Позначення технічного стану вантажного вагона наведено в колах, а самі переходи з одного стану в інший показані стрілками із зазначенням інтенсивності потоків відмов або відновлення. Для кожного технічного стану вантажного вагона характерна відповідна ймовірність:

- P_o – величина ймовірності перебування вантажного вагона в початковому стані (дослідний зразок, який проходить приймальні випробування та має дослідний пробіг);
- P_p – величина ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані;
- $P_{то}$ – величина ймовірності проведення ТО вантажного вагона;
- $P_{то-1}$ – величина ймовірності проведення Тов-1 вантажного вагона;
- $P_{то-2}$ – величина ймовірності проведення Тов-2 вантажного вагона;
- $P_{обк}$ – величина ймовірності перебування на підконтрольній експлуатації;
- $P_{др}$ – величина ймовірності проведення

ДР вантажного вагона;

- $P_{кр}$ – величина ймовірності проведення КР вантажного вагона;
- $P_{крп}$ – величина ймовірності проведення КРП вантажного вагона;
- $P_{зб}$ – величина ймовірності працездатного стану вантажного вагона при збереженні;
- P_n – величина ймовірності працездатного стану вантажного вагона при простій.

Потік ймовірності технічного стану вантажного вагона буде дорівнювати добутку: $P_i \lambda_i, P_i \mu_i$.

Результати

У випадку неусталеного процесу зміни технічного стану вантажного вагона ймовірнісна характеристика відповідної стадії життєвого циклу буде залежати від величини часу, а інтенсивність вхідного й вихідного потоків будуть корелюватись між собою, урахувавши ймовірність перебування вантажного вагона на відповідній стадії його життєвого циклу.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Сама система зміни й переходу технічного стану вантажного вагона відповідно до схеми (рис. 1) може бути описана за допомогою диференціальних рівнянь [3, 5]:

$$\frac{dP_o(t)}{dt} = P_o(t) \mu_o; \quad (1)$$

$$\frac{dP_{обк}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{обк} - P_{обк}(t) \lambda_{обк}; \quad (2)$$

$$\frac{dP_{ТО}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ТО} - P_{ТО}(t) \lambda_{ТО}; \quad (3)$$

$$\frac{dP_{ТО_{в-1}}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ТО_{в-1}} - P_{ТО_{в-1}}(t) \lambda_{ТО_{в-1}}; \quad (4)$$

$$\frac{dP_{ТО_{в-2}}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ТО_{в-2}} - P_{ТО_{в-2}}(t) \lambda_{ТО_{в-2}}; \quad (5)$$

$$\frac{dP_{ДР}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ДР} - P_{ДР}(t) \lambda_{ДР}; \quad (6)$$

$$\frac{dP_{КР}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{КР} + P_{обк}(t) \mu_{обк} - P_{обк}(t) \lambda_{обк}; \quad (7)$$

$$\frac{dP_{КРП}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{КРП} + P_{обк}(t) \mu_{обк} - P_{обк}(t) \lambda_{обк}; \quad (8)$$

$$\frac{dP_{зб}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{зб} - P_{зб}(t) \lambda_{зб}; \quad (9)$$

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = P_p(t) \mu_n - P_n(t) \lambda_n; \quad (10)$$

Для ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані запишемо наступне диференціальне рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{dP_p(t)}{dt} = & P_p(t) \mu_o + P_{обк}(t) \mu_{обк} + P_{КР}(t) (\mu_{КР} - \lambda_{КР}) + \\ & + P_{КРП}(t) (\mu_{КРП} - \lambda_{КРП}) + P_{ДР}(t) (\mu_{ДР} - \lambda_{ДР}) + \\ & + P_{ТО}(t) (\mu_{ТО} - \lambda_{ТО}) + P_{ТО_{в-1}}(t) (\mu_{ТО_{в-1}} - \lambda_{ТО_{в-1}}) + \\ & + P_{ТО_{в-2}}(t) (\mu_{ТО_{в-2}} - \lambda_{ТО_{в-2}}) + P_{зб}(t) (\mu_{зб} - \lambda_{зб}) + \\ & + P_n(t) (\mu_n - \lambda_n). \quad (11) \end{aligned}$$

Якщо розв'язати систему рівнянь (1–11), можна знайти ймовірність перебування вантажного вагона в робочому стані (12):

$$\begin{aligned} P_p = & \frac{P_o \mu_o^2 t_o - P_{обк} t_{обк} (\mu_{обк} \lambda_{обк} - \mu_{кр} \lambda_{обк} + \lambda_{обк} \lambda_{кр} + \mu_{кр} - \lambda_{кр} + \\ & 2 t_p - \mu_{обк}^2 t_{обк} - \mu_{кр} t_{кр} (\mu_{кр} - \lambda_{кр}) - \\ & + \lambda_{обк} \lambda_{крп} - \mu_{крп} \lambda_{обк} + \mu_{крп} - \lambda_{крп}) - \\ & - \mu_{крп} t_{крп} (\mu_{крп} - \lambda_{крп}) - \\ & - P_{ТО} \lambda_{ТО} t_{ТО} (\mu_{ТО} - \lambda_{ТО}) - P_{ТО_{в-1}} \lambda_{ТО_{в-1}} t_{ТО_{в-1}} (\mu_{ТО_{в-1}} - \lambda_{ТО_{в-1}}) - \\ & - \mu_{ТО} t_p (\mu_{ТО} - \lambda_{ТО}) - \mu_{ТО_{в-1}} t_p (\mu_{ТО_{в-1}} - \lambda_{ТО_{в-1}}) - \\ & - P_{ТО_{в-2}} \lambda_{ТО_{в-2}} t_{ТО_{в-2}} (\mu_{ТО_{в-2}} - \lambda_{ТО_{в-2}}) - P_{ДР} \lambda_{ДР} t_{ДР} (\mu_{ДР} - \lambda_{ДР}) - \\ & - \mu_{ТО_{в-2}} t_p (\mu_{ТО_{в-2}} - \lambda_{ТО_{в-2}}) - \mu_{ДР} t_p (\mu_{ДР} - \lambda_{ДР}) - \\ & - P_{зб} \lambda_{зб} t_{зб} (\mu_{зб} - \lambda_{зб}) - P_n \lambda_n t_n (\mu_n - \lambda_n)}{-\mu_{зб} t_p (\mu_{зб} - \lambda_{зб}) - \mu_n t_p (\mu_n - \lambda_n)}. \quad (12) \end{aligned}$$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Використавши вираз для знаходження ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані (12), можна уточнити вираз для

$$K_{\Gamma} = \frac{m}{m_{\text{заг}}} \sum_{i=1}^n \frac{P_{oi} \mu_{oi}^2 t_{oi} - P_{обкі} t_{обкі} (\mu_{обкі} \lambda_{обкі} - \mu_{крі} \lambda_{обкі} + \mu_{крі} \lambda_{крі} - \lambda_{крі} + \lambda_{обкі} \lambda_{крі} - \mu_{крі} \lambda_{обкі} + \mu_{крі} - \lambda_{крі}) - \mu_{крі} t_{крі} (\mu_{крі} - \lambda_{крі}) - \mu_{крі} t_{крі} (\mu_{крі} - \lambda_{крі})}{2 t_{pi} - \mu_{обкі}^2 t_{обкі} - \mu_{крі} t_{крі} (\mu_{крі} - \lambda_{крі}) - \mu_{крі} t_{крі} (\mu_{крі} - \lambda_{крі})} - \frac{-P_{TOi} \lambda_{TOi} t_{TOi} (\mu_{TOi} - \lambda_{TOi}) - P_{TOв-1i} \lambda_{TOв-1i} t_{TOв-1i} (\mu_{TOв-1i} - \lambda_{TOв-1i}) - \mu_{TOi} t_{pi} (\mu_{TOi} - \lambda_{TOi}) - \mu_{TOв-1i} t_{pi} (\mu_{TOв-1i} - \lambda_{TOв-1i}) - P_{TOв-2i} \lambda_{TOв-2i} t_{TOв-2i} (\mu_{TOв-2i} - \lambda_{TOв-2i}) - P_{ДРi} \lambda_{ДРi} t_{ДРi} (\mu_{ДРi} - \lambda_{ДРi}) - \mu_{TOв-2i} t_{pi} (\mu_{TOв-2i} - \lambda_{TOв-2i}) - \mu_{ДРi} t_{pi} (\mu_{ДРi} - \lambda_{ДРi}) - P_{збі} \lambda_{збі} t_{збі} (\mu_{збі} - \lambda_{збі}) - P_{ні} \lambda_{ні} t_{ні} (\mu_{ні} - \lambda_{ні}) - \mu_{збі} t_{pi} (\mu_{збі} - \lambda_{збі}) - \mu_{ні} t_{pi} (\mu_{ні} - \lambda_{ні})}{- \mu_{крі} t_{крі} (\mu_{крі} - \lambda_{крі})} \cdot (13)$$

де m – кількість вантажних вагонів, які перебувають у справному технічному стані; i – відповідний вантажний вагон; $m_{\text{заг}}$ – загальна кількість одиниць вантажного парку.

Наукова новизна та практична значимість

Склавши ланцюг Маркова для випадкових процесів імовірності перебування вантажного вагона на відповідному життєвому циклі з випадковими станами і безперервним потоком часу, була вперше отримана залежність імовірності знаходження вантажного вагона в робочому стані протягом циклу існування. На осно-

кoeffіцієнта технічної готовності вагонного парку (13):

ві отриманого виразу для ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані було уточнено вираз для коефіцієнта технічної готовності вагонного парку.

Висновки

У роботі розглянута зміна технічного стану вантажних вагонів в експлуатації відбувається протягом всього терміну існування, а технічний стан може перебувати в різних стадіях життєвого циклу. Переходи з одного життєвого циклу в інший відбуваються стрибкоподібно, тобто таким переходам властивий випадковий процес.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Босов, А. А. Теоритические основы рационального содержания подвижного состава железных дорог : монография / А. А. Босов, П. А. Лоза. – Днепропетровск : Дриант, 2015. – 252 с.
2. Бочаров, П. П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – Москва : Физматлит, 2005. – 296 с.
3. Булинский, А. В. Теория случайных процессов / А. В. Булинский, А. Н. Ширяев. – Москва : Физматлит, 2005. – 408 с.
4. Дюргеров, Н. Г. Восстановление и повышение износостойкости деталей вагонов : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Н. Г. Дюргеров, И. С. Морозкин, В. Н. Кротов. – Ростов н/Д, 2011. – 255 с.
5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы : [пер. с англ.] / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1974. – 832 с.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

6. Мурадян, Л. А. Автоматична ідентифікація окремих частин транспортного засобу при впровадженні нових концепцій системи технічного обслуговування та ремонту / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2017. – № 4. – С. 44–50.
7. Мурадян, Л. А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Мищенко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 169–179. doi: 10.15802/stp2016/61044
8. Мурадян, Л. А. Повышение надежности грузовых вагонов с применением новых технологий изготовления и восстановления рабочих поверхностей / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, Д. А. Подосенов // Электромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – № 11. – С. 49–54.
9. Мямлин, В. В. Теоретические основы создания гибких поточных производств для ремонта подвижного состава : монография / В. В. Мямлин. – Днепропетровск : Стандарт-Сервис, 2014. – 380 с.
10. Мямлин, С. В. Определение стратегии технического обслуживания и ремонта вагонной техники / С. В. Мямлин, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VII-ой междунар. науч.-техн. конф. (29 марта – 1 апр. 2016 г.). – Иркутск, 2016. – Т. 2. – С. 369–373.
11. Мямлін, С. В. Проблема визначення терміну «надійність». Методологія побудови та вивчення надійності вантажних вагонів / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, Д. М. Барановський // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 110–117. doi: 10.15802/stp2015/57034
12. Остаточный срок службы детали и алгоритм управления фактическим состоянием грузового вагона с учётом требуемого уровня риска возникновения опасного отказа / П. А. Устич, А. А. Иванов, Ф. А. Мажидов, А. А. Салтыкова // News of science : Proceedings of materials the international scientific conference (Czech Republic, Karlovy Vary ; Russia, Moscow, 30–31 August 2015). – Karlovy Vary ; Kirov, 2015. – С. 83–94.
13. Рейдемейстер, А. Г. Способы увеличения прочности боковых рам трехэлементных тележек / А. Г. Рейдемейстер, А. А. Шикунов // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 141–149. doi: 10.15802/stp2015/55351
14. Устич, П. А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П. А. Устич, В. А. Карпычев, М. Н. Овечников. – Москва : УМЦ МПС, 2004. – 416 с.
15. Fomin, O. V. Improvement of upper bunding of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O. V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 7, No. 1. – P. 45–48.
16. Myamlin, S. V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing / S. V. Myamlin, D. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 61–66. doi: 10.15802/pte.v0i7.32096
17. Pradhan, S. Application of Semi-Hertzian Approach to Predict the Dynamic Behavior of Railway Vehicles Through a Wear Evolution Model / Smitirupa Pradhan, Arun Kumar Samantaray, Ranjan Bhattacharyya / Journal of Friction and Wear. – 2017. – Vol. 38. Iss. 6. – P. 437–443. doi: 10.3103/s1068366617060125
18. Shykunov, O. A. Three-element bogie side frame strength / O. A. Shykunov // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 1 (67). – С. 183–193. doi: 10.15802/stp2017/92535
19. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body / F. Zhao, J. Xie // Journal of Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 10. – P. 121–126. doi: 10.3901/jme.2014.10.121

В. Ю. ШАПОШНИК^{1*}

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Цель. В научной работе необходимо исследовать техническое состояние грузовых вагонов при их эксплуатации. Указанная цель предполагает решение следующих задач: 1) описать техническое состояние грузового вагона в период технического обслуживания и ремонта; 2) выяснить зависимости вероятности нахождения грузового вагона в рабочем состоянии в течение цикла существования; 3) уточнить выражение для коэффициента технической готовности вагонного парка. **Методика.** Для достижения поставленной цели автором были рассмотрены методологические подходы к определению различных стадий жизненного цикла грузового вагона. Система изменения и перехода технического состояния грузового вагона описана с помощью дифференциальных уравнений. **Результаты.** В случае неустойчившегося процесса изменения технического состояния грузового вагона вероятностная характеристика соответствующей стадии жизненного цикла зависит от величины времени. Интенсивность входного и выходного потоков коррелируются между собой с учетом вероятности пребывания грузового вагона на соответствующей стадии его жизненного цикла. **Научная новизна.** Переходы с одного жизненного цикла вагона в другой происходят скачкообразно, то есть таким переходом присущий случайный процесс. Вероятность нахождения грузового вагона в соответствующем жизненном цикле определяется его предыдущим техническим состоянием. Общая величина совокупности всех возможных состояний состоит из цепи Маркова для случайных процессов со случайными состояниями и непрерывным потоком времени. В результате исследования впервые получена зависимость вероятности пребывания грузового вагона в рабочем состоянии в течение цикла существования. **Практическая значимость.** На основе полученного определения вероятности нахождения грузового вагона в рабочем состоянии было уточнено выражение для коэффициента технической готовности вагонного парка. *Ключевые слова:* грузовой вагон; надежность; жизненный цикл вагона; схема технического состояния грузового вагона; коэффициент технической готовности вагонного парка

V. Y. SHAPOSHNYK^{1*}

^{1*}Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. La-zaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

THEORETICAL STUDIES ON THE PROCESS OF CHANGE OF THE TECHNICAL CONDITION OF FREIGHT CARS IN OPERATION

Purpose. The scientific work is intended to investigate the technical condition of freight cars during their operation. The said purpose involves solving the following tasks: 1) to describe the technical condition of a freight car during the maintenance and repair period; 2) to determine the dependences of the probability of a freight car being in working condition during the life cycle; 3) to specify the expression for the technical availability ratio of the car fleet. **Methodology.** To achieve the purpose, the author examined the methodological approaches to the definition of various stages of the freight car life cycle. The system of change and transition of the technical condition of the freight car is described using differential equations. **Findings.** In the case of an unstable process of changing the technical condition of a freight car, the probabilistic characteristic of the appropriate life cycle stage depends on the amount of time. The intensity of the input and output flows are correlated with each other, taking into account the probability of a freight car being at the appropriate stage of its life cycle. **Originality.** Transitions from one car life cycle to another occur in discrete steps, that is, such transitions are characterized by a random process. The probability of a freight car being at the appropriate life cycle is determined by its prior technical condition. The total value of the set of all possible conditions consists of the Markov chain for random processes with random states and a continuous flow of time. The study resulted in obtaining, for the first time, of the dependence of the probability of a freight car being in working condition during the life cycle. **Practical value.** On the basis of the obtained definition for the probability of the freight car being in working condition the expression for the technical availability ratio of the car fleet was clarified.

Keywords: freight car; reliability; life cycle of the car; technical condition diagram; technical availability ratio; car fleet

REFERENCES

1. Bosov, A. A., & Loza, P. A. (2015). *Teoriticheskie osnovy ratsionalnogo sodержaniya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog: Monografiya*. Dnepropetrovsk: Driant. (in Russian)
2. Bocharov, P. P., & Pechinkin, A. V. (2005). *Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika*. Moscow: Fizmatlit. (in Russian)
3. Bulinskiy, A. V., & Shiryaev, A. N. (2005). *Teoriya sluchaynykh protsessov*. Moscow: Fizmatlit. (in Russian)
4. Dyurgerov, N. G., Morozkin, I. S., & Krotov, V. N. (2011). *Vosstanovlenie i povyshenie iznosostoykosti detaley vagonov: Uchebnoe posobie dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta*. Rostov-on-Don. (in Russian)
5. Korn, G., & Korn, T. (1974). *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov: Opredeleniya, teoremy, formuly. Perevod s angliyskogo*. Moscow: Nauka. (in Russian)
6. Muradyan, L. A., & Shaposhnik, V. Yu. (2017). Automatic identification of separate parts of vehicle with implementation of new concepts of maintenance and repair implementation. *Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, 4, 44-50. (in Ukrainian)
7. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., & Mishchenko, A. A. (2016). Methodological fundamentals of determination of unpowered rolling stock maintenance characteristics. *Science and Transport Progress*, 1(61), 169-179. doi: 10.15802/stp2016/61044 (in Russian)
8. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., & Podosenov, D. A. (2016). Improving the reliability of freight wagons with the use of new manufacturing technologies and regeneration of working surfaces. *Electromagnetic compatibility and safety on railway transport*, 11, 49-54. (in Russian)
9. Myamlin, V. V. (2014). *Teoreticheskie osnovy sozdaniya gibkikh potochnykh proizvodstv dlya remonta podvizhno-go sostava: Monografiya*. Dnepropetrovsk: Standart-Servis. (in Russian)
10. Myamlin, S. V., Muradyan, L. A., & Shaposhnik, V. Yu. (2016). Opredelenie strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta vagonnoy tekhniki. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: Materialy VII-oy Mezhdunar nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Irkutsk, 29 march–1 april)*, 2, 369-373. (in Russian)
11. Myamlin, S. V., Muradyan, L. A., & Baranovskiy, D. M. (2015). Problem of the definition the «reliability» term. Methodology of construction and study the reliability of freight cars. *Science and Transport Progress*, 6(60), 110-117. doi: 10.15802/stp2015/57034 (in Ukrainian)
12. Ustich, P. A., Ivanov, A. A., Mazhidov, F. A., & Saltykova, A. A. (2015). Ostatochnyyi srok sluzhby detali i algoritm upravleniya fakticheskim sostoyaniem gruzovogo vagona s uchetom trebuemogo urovnya riska vznikonoveniya opasnogo otkaza. *News of science: Proceedings of materials the international scientific conference (Czech Republic, Karlovy Vary ; Russia, Moscow, 30–31 August)*, 83–94. (in Russian)
13. Reydemeyster, A. G., & Shikunov, A. A. (2015). Strength increase methods of the side frame of the bogie in three-piece trucks. *Science and Transport Progress*, 5(59), 141-149. doi: 10.15802/stp2015/55351 (in Russian)
14. Ustich, P. A., & Karpychev, V. A., & Ovechnikov, M. N. (2004). *Nadezhnost relsovogo netyagovogo podvizhnogo sostava*. Moscow: UMTs MPS. (in Russian)
15. Fomin, O. V. (2015). Improvement of upper bunding of side wall of gondola cars of 12-9745 model. *Metallurgical and Mining Industry*, 7(1), 45-48. (in English)
16. Myamlin, S. V., & Baranovskiy, D. (2014). The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. *The Problems of the Transport Economics*, 7, 61-66. doi: 10.15802/pte.v0i7.32096 (in English)
17. Pradhan, S. (2017). Application of Semi-Hertzian Approach to Predict the Dynamic Behavior of Railway Vehicles Through a Wear Evolution Model. Smitirupa Pradhan, Arun Kumar Samantaray, Ranjan Bhattacharyya. *Journal of Friction and Wear*, 38(6), 437-443. doi: 10.3103/s1068366617060125 (in English)
18. Shykunov, O. A. (2017). Three-element bogie side frame strength. *Science and Transport Progress*, 1(67), 183-193. doi: 10.15802/stp2017/92535 (in English)
19. Zhao, F., & Xie, J. (2014). Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body. *Journal of Mechanical Engineering*, 50(10), 121-126. doi: 10.3901/jme.2014.10.121 (in English)

Надійшла до редколегії: 29.03.2018

Прийнята до друку: 11.07.2018