

## UDC 629.463.083-049.6

V. Y. SHAPOSHNYK<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 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

### Introduction

The main task of rail transport is to ensure uninterrupted transportation process, the mandatory condition of which is the safe railway operation [9, 17]. Successful implementation of the tasks facing the railway needs to improve the technical level of rolling stock, the introduction of modern high-efficient constructive solutions, materials and technologies [12, 16, 18, 19]. In order to maintain a high technical level of the car fleet, it is necessary to introduce the modern technologies for renewal and increase of wear resistance of parts, improvement of the maintenance system of cars in operation [4, 8, 10, 13, 15]. With the introduction of new information technologies that enable the automatic identification of cars and their individual parts, even the normal operation of the car can be viewed as a stand for reliability testing [6, 11]. The analysis of publications on this problem indicates the need for theoretical studies of the process of

changing the technical condition of freight cars in operation [1, 7, 14].

### Purpose

The main purpose of the work is to investigate the process of changing the technical condition of freight cars in operation. To achieve it, it is necessary: 1) to describe the technical condition of the freight car during maintenance and repair; 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

The freight car during its lifetime may be at different stages of the life cycle:

– in the initial state (test sample, which undergoes acceptance tests and has a trial run);

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- in under-control operation;
- in good working condition;
- on maintenance (M, Mc-1, Mc-2);
- on roundhouse servicing (RS);
- on overall repairs (OR, OR with life extension);
- on storage;
- in a good non-working condition (idle).

Transitions from one life cycle to another occur in discrete steps, that is, such transitions are characterized by a random process [2]. 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 con-

sists of the Markov chain for random processes with random states and a continuous flow of time. In this case, there is a sequence of dependent technical states  $S_n$  to other  $S_k$  occurs through the actions of the corresponding streams of events. Such events are failure or restoration.

Let us denote the failure flow intensity rate as  $\lambda$ , and the restoration flow intensity rate of the technical condition of the freight car as  $\mu$ .

Characteristics of the corresponding technical condition of the freight car at a certain stage of the life cycle are given in Table 1.

Table 1

Characteristics of the technical condition of the freight car during the life cycle

Stage of the relevant life cycle	Designation of technical condition, $S$	Failure intensity value, $\lambda$	Restoration intensity rate of the technical condition, $\mu$
Starting (initial) state	$S_o$	–	–
Under-control operation	$S_{con}$	–	$\mu_{con}$
Good working condition	$S_w$	–	–
On maintenance	$S_M$	$\lambda_M$	$\mu_M$
On maintenance Mc-1	$S_{Mc-1}$	$\lambda_{Mc-1}$	$\mu_{Mc-1}$
On maintenance Mc-2	$S_{Mc-2}$	$\lambda_{Mc-2}$	$\mu_{Mc-2}$
On roundhouse servicing	$S_{RS}$	$\lambda_{RS}$	$\mu_{RS}$
On OR	$S_{OR}$	$S_{OR}$	$\mu_{OR}$
On OR with life extension	$S_{ORL}$	$\lambda_{ORL}$	$\mu_{ORL}$
On storage	$S_{st}$	$\lambda_{st}$	$\mu_{st}$
Idle state	$S_i$	$\lambda_i$	$\mu_i$

For the given technical conditions of the life cycle of a freight car it is possible to propose a marked diagram with corresponding transitions (Fig. 1).

The indication of the technical condition of the freight car is given in the circles, and the transitions themselves from one condition to another are indicated by arrows specifying the intensity of the failure or restoration flows. Each technical condition of the freight car is characterized by the corresponding probability:

- $P_o$  – probability rate of freight car being in its original condition (a test specimen undergoing acceptance tests and having a trial run);
- $P_w$  – probability rate of freight car being in working condition;
- $P_M$  – probability rate of carrying out maintenance of the freight car;
- $P_{Mc-1}$  – probability rate of carrying Mc-1 of the freight car;

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- $P_{Mc-2}$  – probability rate of carrying  $Mc-2$  of the freight car;
- $P_{con}$  – probability rate of being under the control of operation;
- $P_{RS}$  – probability rate of conducting RS of the freight car;
- $P_{OR}$  – probability rate of carrying out OR of the freight car;

- $P_{ORL}$  – probability rate of carrying out ORL of the freight car;
  - $P_{st}$  – probability rate of the working condition of the freight car during storage;
  - $P_i$  – probability rate of the working condition of the freight car at idle.
- The probability flow of the technical condition of the freight car will be equal to the product:  $P_i\lambda_i, P_i\mu_i$ .

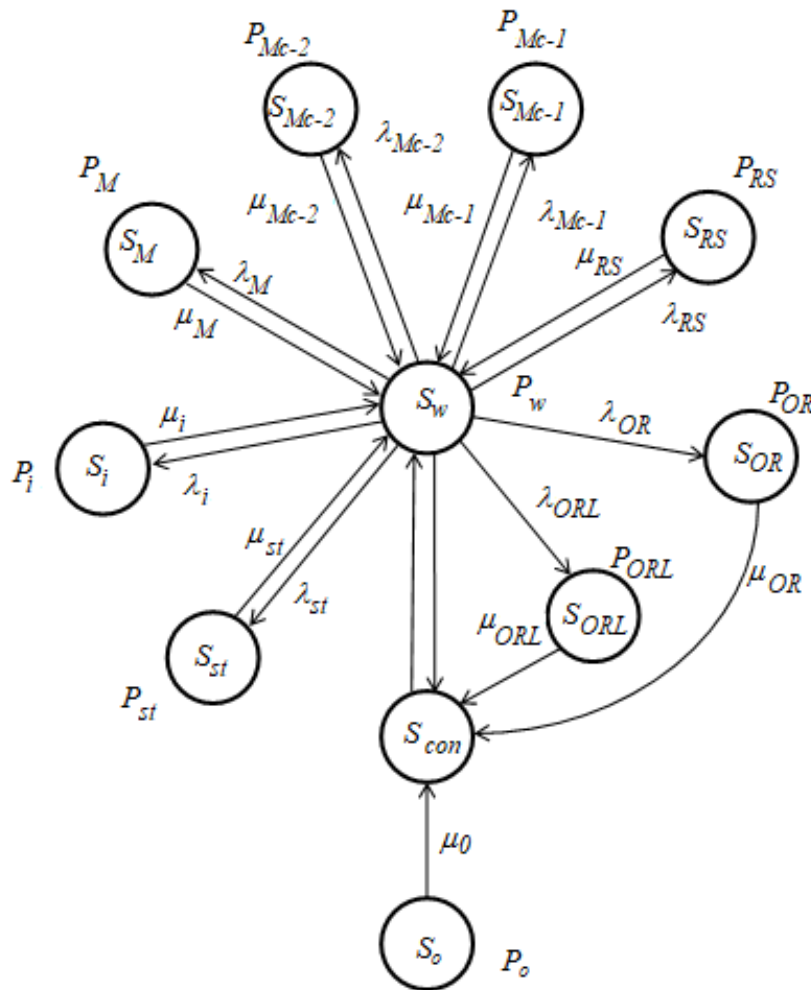


Fig. 1. Freight car technical condition diagram

**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, while the intensity of the input and output flows are correlat-

ed with each other, taking into account the probability of a freight car being at the appropriate stage of its life cycle.

The very system of change and transition of the technical condition of the freight car according to the diagram (Fig. 1) can be described by means of differential equations [3, 5]:

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\frac{dP_o(t)}{dt} = P_o(t) \mu_o; \quad (1) \quad -P_{con}(t) \lambda_{con}; \quad (8)$$

$$\frac{dP_{con}(t)}{dt} = P_w(t) \mu_{con} - P_{con}(t) \lambda_{con}; \quad (2) \quad \frac{dP_{st}(t)}{dt} = P_w(t) \mu_{st} - P_{st}(t) \lambda_{st}; \quad (9)$$

$$\frac{dP_M(t)}{dt} = P_w(t) \mu_M - P_M(t) \lambda_M; \quad (3) \quad \frac{dP_i(t)}{dt} = P_w(t) \mu_i - P_i(t) \lambda_i; \quad (10)$$

$$\frac{dP_{Mc-1}(t)}{dt} = P_w(t) \mu_{Mc-1} - P_{Mc-1}(t) \lambda_{Mc-1}; \quad (4)$$

$$\frac{dP_{Mc-2}(t)}{dt} = P_w(t) \mu_{Mc-2} - P_{Mc-2}(t) \lambda_{Mc-2}; \quad (5)$$

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

$$\frac{dP_{OR}(t)}{dt} = P_w(t) \mu_{OR} + P_{con}(t) \mu_{con} - P_{con}(t) \lambda_{con}; \quad (7)$$

$$\frac{dP_{ORL}(t)}{dt} = P_w(t) \mu_{ORL} + P_{con}(t) \mu_{con} -$$

For the probability of freight car being in working condition, we use the following differential equation:

$$\begin{aligned} \frac{dP_w(t)}{dt} = & P_w(t) \mu_o + P_{con}(t) \mu_{con} + P_{OR}(t) (\mu_{OR} - \lambda_{OR}) + \\ & + P_{ORL}(t) (\mu_{ORL} - \lambda_{ORL}) + P_{RS}(t) (\mu_{RS} - \lambda_{RS}) + \\ & + P_M(t) (\mu_M - \lambda_M) + P_{Mc-1}(t) (\mu_{Mc-1} - \lambda_{Mc-1}) + \\ & + P_{Mc-2}(t) (\mu_{Mc-2} - \lambda_{Mc-2}) + P_{st}(t) (\mu_{st} - \lambda_{st}) + \\ & + P_i(t) (\mu_i - \lambda_i) \end{aligned} \quad (11)$$

If we solve the system of equations (1-11), we can find the probability of the freight car being in working condition (12):

$$\begin{aligned} P_w = & \frac{P_o \mu_o^2 t_o - P_{con} t_{con} (\mu_{con} \lambda_{con} - \mu_{or} \lambda_{con} + \lambda_{con} \lambda_{or} + \mu_{or} - \lambda_{or} + \\ & 2t_w - \mu_{con}^2 t_{con} - \mu_{or} t_{or} (\mu_{or} - \lambda_{or}) - \\ & + \lambda_{con} \lambda_{orl} - \mu_{orl} \lambda_{con} + \mu_{orl} - \lambda_{orl}) - \\ & - \mu_{orl} t_{orl} (\mu_{orl} - \lambda_{orl}) - \\ & - P_M \lambda_M t_M (\mu_M - \lambda_M) - P_{Mc-1} \lambda_{Mc-1} t_{Mc-1} (\mu_{Mc-1} - \lambda_{Mc-1}) - \\ & - \mu_M t_w (\mu_M - \lambda_M) - \mu_{Mc-1} t_w (\mu_{Mc-1} - \lambda_{Mc-1}) - \\ & - P_{Mc-2} \lambda_{Mc-2} t_{Mc-2} (\mu_{Mc-2} - \lambda_{Mc-2}) - P_{RS} \lambda_{RS} t_{RS} (\mu_{RS} - \lambda_{RS}) - \\ & - \mu_{Mc-2} t_w (\mu_{Mc-2} - \lambda_{Mc-2}) - \mu_{RS} t_w (\mu_{RS} - \lambda_{RS}) - \\ & - P_{st} \lambda_{st} t_{st} (\mu_{st} - \lambda_{st}) - P_i \lambda_i t_i (\mu_i - \lambda_i) \\ & - \mu_{st} t_w (\mu_{st} - \lambda_{st}) - \mu_i t_w (\mu_i - \lambda_i) \end{aligned} \quad (12)$$

Using the expression to find the probability of the freight car being in the working condition (12),

we can clarify for the expression for the technical availability ratio of the car fleet (13):

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\begin{aligned}
R_A = \frac{m}{m_{tot}} \sum_{i=1}^n \frac{P_{oi} \mu_{oi}^2 t_{oi} - P_{coni} t_{coni} (\mu_{coni} \lambda_{coni} - \mu_{ori} \lambda_{coni} +}{2 t_{wi} - \mu_{coni}^2 t_{coni} - \mu_{ori} t_{ori} (\mu_{ori} - \lambda_{ori}) -} \\
\frac{+ \lambda_{coni} \lambda_{ori} + \mu_{ori} - \lambda_{ori} + \lambda_{coni} \lambda_{orli} - \mu_{orli} \lambda_{coni} + \mu_{orli} - \lambda_{orli}) -}{- \mu_{orli} t_{orli} (\mu_{orli} - \lambda_{orli}) -} \\
\frac{- P_{Mi} \lambda_{Mi} t_{Mi} (\mu_{Mi} - \lambda_{Mi}) - P_{Mc-1i} \lambda_{Mc-1i} t_{Mc-1i} (\mu_{Mc-1i} - \lambda_{Mc-1i}) -}{- \mu_{Mi} t_{wi} (\mu_{Mi} - \lambda_{Mi}) - \mu_{Mc-1i} t_{wi} (\mu_{Mc-1i} - \lambda_{Mc-1i}) -} \\
\frac{- P_{Mc-2i} \lambda_{Mc-2i} t_{Mc-2i} (\mu_{Mc-2i} - \lambda_{Mc-2i}) - P_{RSi} \lambda_{RSi} t_{RSi} (\mu_{RSi} - \lambda_{RSi}) -}{- \mu_{Mc-2i} t_{wi} (\mu_{Mc-2i} - \lambda_{Mc-2i}) - \mu_{RSi} t_{wi} (\mu_{RSi} - \lambda_{RSi}) -} \\
\frac{- P_{sti} \lambda_{sti} t_{sti} (\mu_{sti} - \lambda_{sti}) - P_{ii} \lambda_{ii} t_{ii} (\mu_{ii} - \lambda_{ii})}{- \mu_{sti} t_{wi} (\mu_{sti} - \lambda_{sti}) - \mu_{ii} t_{wi} (\mu_{ii} - \lambda_{ii})}. \quad (13)
\end{aligned}$$

where  $m$  – the number of freight cars in good technical condition;  $i$  – the corresponding freight car;  $m_{tot}$  – total number of the car fleet units.

the probability of the freight car being in working condition the expression for the technical availability ratio of the car fleet was clarified.

### Originality and practical value

Having formed the Markov chain for random processes of probability of the freight car being at a corresponding life cycle with random conditions and continuous flow of time, we for the first time obtained dependence of probability of the freight car being in the working condition during the life cycle. On the basis of the obtained definition for

### Conclusions

The work considered change of technical condition of freight cars in operation occurs during the whole lifetime, and the technical condition can be in different stages of the life cycle. Transitions from one car life cycle to another occur in discrete steps, that is, such transitions are characterized by a random process.

### LIST OF REFERENCE LINKS

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.
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 залізнич. 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

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

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 // Электромагнитна 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<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>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

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

циклу залежить від величини часу. Інтенсивність вхідного й вихідного потоків корелюються між собою з урахуванням імовірності 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. Імовірність 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 імовірності 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

В. Ю. ШАПОШНИК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>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

**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 неустановившегося 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 переходам 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; коэффициент технической готовности; вагонный парк

### REFERENCES

1. Bosov, A. A., & Loza, P. A. (2015). *Teoriticheskie osnovy ratsionalnogo soderzhaniya podvizhnogo sostava zheleznikh 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)

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

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 vozniknoveniya 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)

Received: March 29, 2018

Accepted: July 11, 2018