



УДК 629.423

**MODEL OF A SYSTEM FOR ADAPTING ENTERPRISE ROLLING STOCK FLEETS TO CHANGES IN ENVIRONMENTAL CONDITIONS****МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ ПАРКІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЗМІН УМОВ СЕРЕДОВИЩА****Khara M.V. /Хара М.В.***c.t.s., docent /к.т.н., доцент*

ORCID: 0000-0002-6818-7938

**Maslak G.V. /Маслак Г.В.***c.t.s., docent /к.т.н., доцент*

ORCID: 0000-0001-7256-5543

**Krasulin O.S. / Красулін О.С.***Senior Lecturer /ст. викладач*

ORCID: 0000-0001-891-3264

**Shatokhina V.V. / Шатохіна В.В.***Student***Shuba D.A. / Шуба Д.А.***Student**Pryazovskyi State Technical University, Dnipro, Dmytro Yavornytskyi st., 19, 49005**Приазовський державний технічний університет, Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19, 49005*

**Анотація.** Запропоновано модель адаптивних рішень забезпечення готовності рухомого складу підприємств для кожної фази економічного циклу, яка дозволяє керувати кількістю транспортних одиниць, які забезпечують вантажопотоки у фазах кризи, депресії, поживлення та підйому економіки.

**Ключові слова:** методи управління готовністю парків, рухомий склад, економічні цикли, адаптаційна модель, транспортні процеси, коефіцієнт готовності, економічні процеси, залишковий ресурс.

**Вступ .**

Відомі теорії, на основі яких визначається готовність транспортної техніки та парків рухомого складу відповідати роботі підприємства у стабільних умовах. Проте, відсутні методи управління готовністю парків у період кризових явищ – різкого спаду виробництва, зміни обсягів транспортної роботи, умов воєнного стану, коли стають надмірними існуючий парк рухомого складу та ремонтні потужності, а в період виходу з кризи – підйому виробництва та його пікових значень, парки рухомого складу, які є у підприємства, стають недостатніми як по кількості транспортних одиниць, так і по їх структурі.

Проблема полягає в управлінні станом рухомого складу, необхідності ухвалення рішень в умовах циклової динаміки економічних процесів; у необхідності розробки адаптаційних методів та механізмів управління функціонуванням парків рухомого складу промислових підприємств.

**Основний текст**

Відомі моделі забезпечення готовності рухомого складу, що базуються на теорії надійності та теорії відновлення. Їх неповнотою є відсутність моделі забезпечення готовності парків рухомого складу в умовах зовнішнього середовища, що змінюються, пов'язаних з циклічними закономірностями економічного розвитку і змінами стану в країні [1, 2, 3].



Виконаний аналіз відомих досліджень та публікацій дозволив сформулювати нове завдання управління готовністю вагонів промислового транспорту, модель якої ґрунтується на генерації системи заходів циклічної та ситуаційної (циклоситуаційної) адаптації до змін зовнішніх та внутрішніх умов середовища, у яких функціонують промислові підприємства.

Забезпечення експлуатаційної готовності рухомого складу підприємств характеризує його технічна характеристика та насамперед його надійність [1] і технологія забезпечення якості відновлювальних робіт.

У класичній теорії цикли коливань вантажопереробки включають чотири фази, характерні для парків рухомого складу: кризис (спад); депресія (стагнація) нижча точка спаду; пожвавлення (експансія) чи фаза відновлення; підйом (бум, пік).

Управління експлуатаційною готовністю парку рухомого складу промислових підприємств – багатоетапне завдання. Її рішення спрямоване на підвищення ефективності транспортної системи в цілому при виконанні умови її адекватності обсягам перевезень та у своєчасному виявленні та попередженні несправностей, що знижують готовність до перевізного процесу.

Як механізм генерації системи заходів готовності рухомого складу промислового транспорту у фазах економічного циклу запропоновано адаптаційну модель, що передбачає послідовне забезпечення рівня фазової готовності, значення якого задає особа яка приймає рішення (ОПР).

У період кризи вагонні парки продовжують зберігати початковий кількісний склад, а обсяг перевезень різко падає. І тут коефіцієнт готовності збільшується з допомогою відбору до роботи вагонів з великими ресурсами і великих резервів ремонтного виробництва, тобто коефіцієнт готовності зростає у разі зниження витрат на його забезпечення.

Адаптаційна модель фази кризи побудована на функціональній залежності готовності парку рухомого складу –  $k_z^K$  забезпечувати трансформацію облікового складу парку до настання кризи –  $n_{cn}$  у робочий парк фази кризи  $n_p^K$  за критерієм максимального залишкового ресурсу  $R_{max}$  рухомого складу, що переводиться зі стану  $n_{cn}$  в стан  $n_p^K$ :

$$k_z^K = f(n_p^K); n_p^K = \left( \sum_{i=1}^n n_{ci} - \sum_{j=1}^K n_{Rminj} \right). \quad (1)$$

Якщо рухомий склад пропрацював безперервно час  $\alpha$ , тоді середній залишковий ресурс:

$$R(\alpha) = \frac{\int_0^{\infty} P(x) dx}{P(\alpha)} \quad (2)$$

де  $P(x)$ - ймовірність безвідмовної роботи транспортної одиниці протягом часу  $x$

Адаптаційна модель готовності парку –  $k_z^D$  забезпечувати логістичні потоки у фазі депресії побудована на закономірності теорії простого відновлення, а саме трансформації парку  $n_p^K$  в робочий парк  $n_p^D$  за рахунок заміни транспортних одиниць, що вибувають через фізичне старіння,



$$\sum_{i=1}^n n_c \text{ новими} \sum_{i=1}^D n_n, \text{ де } \sum_{i=1}^n n_c = \sum_{i=1}^D n_n$$

$$k_z^D = f(n_p^D); n_p^D = n_p^K - \sum_{i=1}^n n_c + \sum_{i=1}^D n_n, \tag{3}$$

$$n_c(t) = n_p^D F_c(t) + \int_0^t v(t-\tau) F_c(t) d\tau, \tag{4}$$

де  $F_c(t)$  – функція розподілу тривалості періоду до відновлення;  $v(t-\tau)$  – інтенсивність відмови за проміжок часу  $(t-\tau)$ ;  $\tau$  – час, протягом якого визначається число списаних транспортних одиниць.

Модель адаптації готовності парку –  $k_z^{O,\Pi}$ , яка забезпечує матеріалопотоки у фазах поживлення та підйому, побудована на принципах теорії розширеного відновлення, а саме трансформації парку  $n_p^D$  в робочі парки  $n_p^O$  та  $n_p^\Pi$ . Для цього поряд із заміною транспортних одиниць, що вибувають внаслідок старіння, вводиться додаткова кількість, яка розраховується рішенням рекурентних рівнянь із змінними коефіцієнтами  $r_1, \dots, r_n$ , що враховують зростання вантажопереробки :

$$k_z^{O,\Pi} = f(n_p^{O,\Pi}); n_p^{O,\Pi} = n_p^D + \sum_{i=1}^n n_n^{O,\Pi}. \tag{5}$$

Модель адаптивних рішень забезпечення необхідного рівня коефіцієнта готовності, який задовольняє вимогам особи, яка приймає рішення для кожної фази економічного (промислового) циклу, описує залежність кількості транспортних одиниць у парку залежно від вантажопотоку  $n_p = f(Q)$  для кожної фази циклу  $i = (K, D, O, \Pi)$  і тоді, згідно з залежностями (1–5) слід, що системна робоча модель генерації готовності рухомого складу виглядає так:

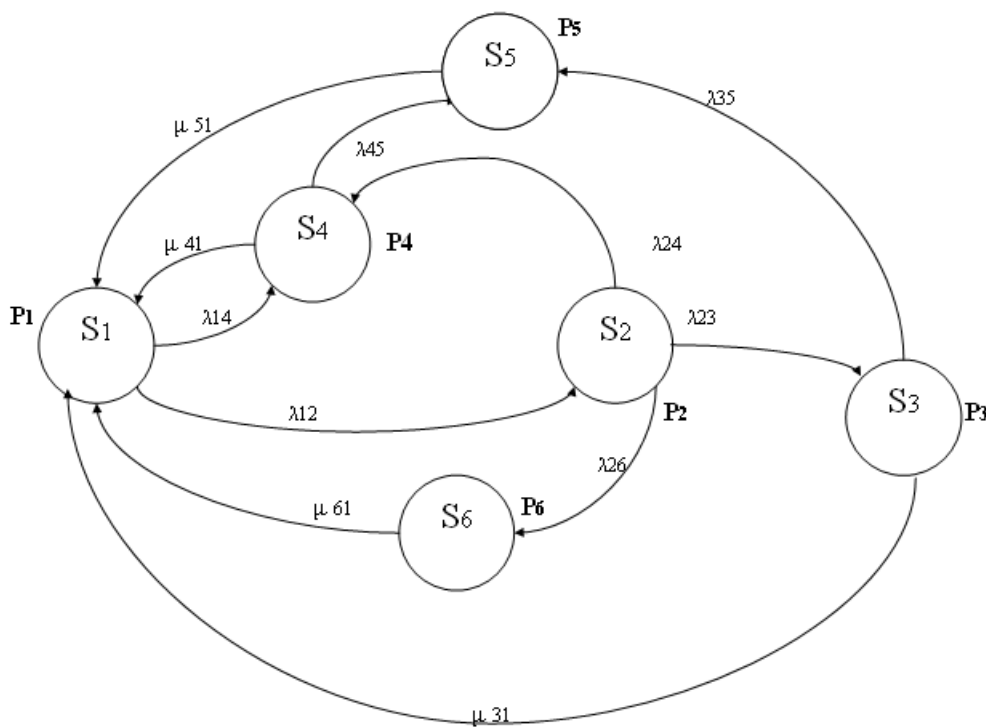
$$\left| \begin{aligned} k_z^w &= F[z; U; U_\Sigma] \geq k_z^w SAT_{\text{ППР}}; n_p = f(Q_i), i = (K, D, O, \Pi) \\ k_z^K &= f(n_p^K); n_p^K = \left( \sum_{i=1}^n n_c - \sum_{j=1}^K n_{R_{\min}} \right) \\ &\downarrow \\ k_z^D &= f(n_p^D); n_p^D = n_p^K - \sum_{i=1}^n n_c + \sum_{i=1}^n n_n \\ &\downarrow \\ k_z^{O,\Pi} &= f(n_p^{O,\Pi}); n_p^{O,\Pi} = n_p^D + \sum_{i=1}^n n_n^{O,\Pi} \end{aligned} \right. \tag{6}$$

Реалізація моделі, її перевірка для умов металургійного підприємства ґрунтується на процесі визначення показника коефіцієнта готовності середньостатистичної одиниці рухомого складу. Процес її функціонування – це випадковий процес у часі з обмеженою кількістю можливих станів  $S_n$ : ( $n = 1 \div 6$ ,  $S_1$  – працездатний стан;  $S_2$  – стан прихованої відмови;  $S_3$  – стан відновлення після відмови;  $S_4$  – стан планового ТО,  $S_5$  – стан планового аварійно- відновного ремонту,  $S_6$  – стан позапланового аварійно-відновлювальних операцій.



Для вирішення завдання використано апарат теорії марківських процесів. Наприклад, середньостатистичний вагон в умовах промислового підприємства може перебувати в одному із шести станів (рис. 1). Перехід зі стану до стану відбувається з інтенсивностями, що визначаються показниками надійності вагона та показниками якості функціонування системи ТО.

Це стосується як інтенсивностей відмов  $\lambda$ , так і інтенсивностей відновлень  $\mu$ . Як приклад нами використано вихідну інформацію про показники надійності середньостатистичного вагона підприємства [4]. Закон розподілу, що характеризує зміну показників надійності цього об'єкта, визначено в результаті статистичного аналізу даних за дворічний період.



**Рисунок 1 – Граф станів середньостатистичного вагона в умовах промислового підприємства**

*Авторська розробка*

Результати аналізу теоретичних робіт у галузі надійності [5, 6] дозволяють охарактеризувати безвідмовність вагона за цей період експлуатації законом гама розподілу, Він широко використовується для опису поступових (зносних у широкому розумінні) відмов, відмов внаслідок накопичення пошкоджень, часу відновлення та ін. Це дозволить обчислити інтенсивність відмов середньостатистичного вагона промтранспорту протягом досліджуваного періоду часу:

$$\lambda = \frac{\zeta}{\Gamma(\eta)} t^{\eta-1} e^{-\zeta t} \quad (7)$$

$$\sum_{k=0}^{\eta-1} \frac{1}{k!} (\zeta t)^k \exp(-\zeta t)$$

де  $\Gamma(\eta)$  – гамма-функція;  $\eta$  – параметр форми;  $\zeta$  – параметр масштабу.



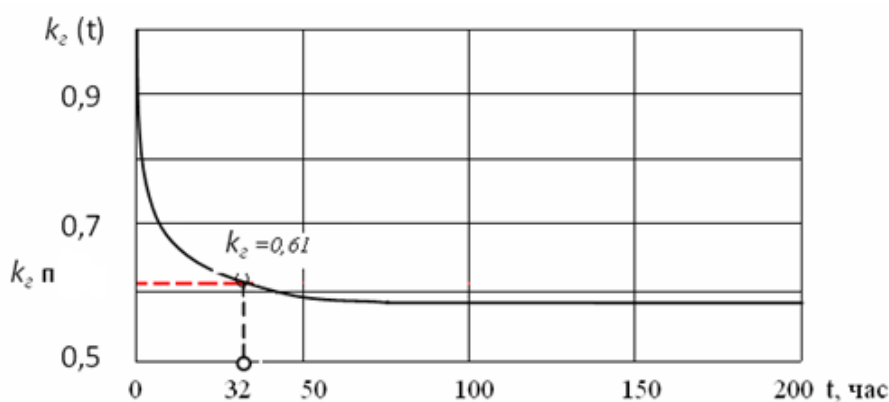
В цьому випадку інтенсивність відмов вагона дорівнює  $\lambda = 7,36 \cdot 10^{-5}$  відмов/години.

Для виділених шести станів вагона  $S_n$  ( $n = 1 \div 6$ ) приймемо інтенсивності відмов близькими до тих, які зустрічаються в практиці експлуатації та характеризуються показниками інтенсивності відмов  $\lambda_n$  та інтенсивності відновлень  $\mu_n$ . Результати розрахунку інтенсивності відмов середньостатистичного вагона при його переході з одного до стану в інший (рис. 1) наведені нижче:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 7,36 \cdot 10^{-5} \text{ відмов/час}, \lambda_{23} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ відмов/час} \\ \lambda_{14} &= 2,45 \cdot 10^{-6} \text{ відмов/час}, \lambda_{26} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ відмов/час}, \lambda_{24} \\ &= 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ відмов/час} \\ \lambda_{45} &= 3,43 \cdot 10^{-6} \text{ відмов/час}, \lambda_{35} = 3,06 \cdot 10^{-5} \text{ відмов/час} \end{aligned}$$

Стан середньостатистичного вагону промислового підприємства представлено за допомогою диференціальних рівнянь Колмогорова.

Рішення рівняння Колмогорова виконано у пакеті Mathcad за допомогою функції **rkfixed**. Аналіз отриманого графіка в середовищі Mathcad (рис. 2) дозволяє зробити наступний висновок: експлуатація середньостатистичного вагона групи вагонів промислового підприємства, характеризується наступними параметрами. Наприклад, ділянка підприємства обслуговується двома групами вагонів із 20 одиниць кожна, при цьому 14 вагонів перебувають у резерві цієї ділянки. При експлуатації вагона на досліджуваній ділянці протягом  $t = 32$  годин коефіцієнт експлуатаційної готовності середньостатистичного вагону знижується з 0,87 до критичного рівня та набуває значення  $k_2 = 0,61$ . Різке зниження експлуатаційної готовності компенсується практично за рахунок заміни вагонів, вагонами з резерву. Дане зниження викликано впливом комплексу факторів: зношеністю рухомого складу, фізико-хімічними властивостями вантажу, який перевозиться, і значними обсягами перевезень – наприклад за 32 години на підприємстві «аглодоменими вертушками» перевозиться до 15 тис. тонн агломерату.



$k_{2n}$  - мінімальне значення коефіцієнту готовності

**Рисунок 2 – Коефіцієнт готовності вагона в умовах промислового підприємства**



В умовах функціонування вагонного господарства промислових підприємств тимчасовий показник, який характеризує міжремонтний період експлуатації вагонів становить 48 годин, що є вищим за розрахунковий  $t = 32$  години. Отримані результати дозволяють зробити висновок про високий ступінь зносу вагонів та необхідність заходів згідно з запропонованими нами рішенням.

### **Висновки.**

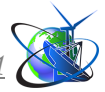
Фактичний стан та аналіз функціонування вагонних парків дозволяє зробити висновок про те, що основою нових методів та нової організації забезпечення готовності вагонів промислового транспорту підприємства є використання моделі генерації та системи заходів для циклічної та ситуаційної (циклоситуаційної) адаптації до змін зовнішнього та внутрішнього економічного середовища промислового підприємства.

### **Література:**

1. Губенко, В. К. Логістика надійності та екологічності вагонопотоків промпідприємств сітірайонів: монографія / В. К. Губенко, М. В. Хара, А. О. Лямзін. – Донецьк: ТОВ "Цифрова типографія", 2014. – 383 с.
2. Губенко, В. К. Адаптація транспорту металопотоків до економічного середовища, що змінюється : монографія / В.К. Губенко, І.В. Ніколаєнко, А.В. Тарасенко; НАН України, Ін-т економіки промисловості. – Донецьк: Вебер, 2009. – 235 с.
3. Khara, M. V. Supply Chain Management and Networks / M. V. Khara, I. V. Nikolaienko, A. O. Lyamzin // Crisis and Risks Engineering for Transport Services: collective monograph / Nataliia Chernova, Valerii Samsonkin, Iuliia Bulgakova etc.; edited by Nataliia Chernova, Konrad Lewczuk. – Kyiv: Talcom, 2022. – P.142–160.
4. Губенко, В. К. Факторная цепь готовности к транспортно–технологическим операциям вагонов промышленного транспорта / В.К. Губенко, М.В. Хара // Вісник Призов. держ. техн. ун–ту : зб. наукових праць. – Маріуполь, 2008. – Вип. 18. – С. 226–229.
5. Основи надійності літальних апаратів [Текст]: навч. посіб. О. М. Нечипоренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 240 с. Бібліогр.: с. 235- 239.
6. Болтянська Н. І. Надійність технологічних систем: курс лекцій / Н.І. Болтянська. – Мелітополь: Люкс, 2019. – 168 с.

***Abstract.** A model of adaptive solutions for ensuring the readiness of rolling stock for each phase of the economic cycle is proposed, which allows you to manage the number of transport units that provide freight flows in the phases of crisis, depression, revival and economic recovery. The problem lies in the management of rolling stock, the need to make decisions in the conditions of cyclical dynamics of economic processes; in the need to develop adaptation methods and mechanisms for managing the operation of rolling stock parks of industrial enterprises. The analysis of well-known research and publications made it possible to formulate a new task of managing the readiness of industrial transport wagons, the model of which is based on the generation of a system of measures for cyclical and situational (cyclosituational) adaptation to changes in the external and internal conditions of the environment in which industrial enterprises operate. Ensuring the operational readiness of rolling stock of enterprises is characterized by its technical characteristics*





*and, first of all, its reliability and the technology of ensuring the quality of restoration works. As a mechanism for generating a system of measures for the readiness of rolling stock of industrial transport in the phases of the economic cycle, an adaptation model is proposed, which provides for the consistent provision of the level of phase readiness, the value of which is set by the person who makes the decision. The actual state and analysis of the functioning of wagon fleets allows us to conclude that the basis of new methods and new organization of ensuring the readiness of industrial transport wagons of the enterprise is the use of a generation model and a system of measures for cyclical and situational (cyclosituational) adaptation to changes in the external and internal economic environment of an industrial enterprise.*

**Key words:** *fleet readiness management methods, rolling stock, economic cycles, adaptation model, transport processes, readiness factor, economic processes, residual resource.*

Статья отправлена: 20.02.2024 г.

© Хара М.В., Маслак Г.В., Красулін О.С., Шатохіна В.В., Шуба Д.О.