

## ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

---

УДК 629.46-027.45(043.5)

### АДАПТИВНІ БАЙЄСІВЬКІ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Доктори техн. наук С. В. Мямлін, В. В. Скалозуб, канд. техн. наук Л. А. Мурадян

### АДАПТИВНЫЕ БАЙЕСОВСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Доктора техн. наук С. В. Мямлін, В. В. Скалозуб, канд. техн. наук Л. А. Мурадян

### ADAPTIVE BAYESIAN MODELS FOR EVALUATING THE INDICATORS OF THE RELIABILITY OF FREIGHT CARS ON THE STAGES OF THE LIFE CYCLE

D. Sc. (Tech.) S. V. Myamlin, D. Sc. (Tech.) V. V. Skalozub, PhD (Tech.) L. A. Muradian

*У статті розглядається обґрунтування правомірності застосування байєсівської моделі (БМ) для розрахунків показників надійності вантажного вагона на етапах життєвого циклу. На підставі експериментальних даних були визначені показники надійності деталей і вузлів вантажних вагонів. Методика, що представлена, дозволяє використовувати адаптовані БМ для оцінювання показників надійності вантажного вагона на етапах життєвого циклу, а також оптимізувати міжремонтний термін і кількість ремонтів протягом життєвого циклу моделі вагона, при цьому забезпечується облік конструктивних особливостей.*

**Ключові слова:** вагон, надійність, вірогідність безвідмовної роботи, відмова, механічний знос, втомне руйнування, життєвий цикл, теорія Байєса, індивідуальна модель вагона.

*В статье рассматривается обоснование правомерности применения байесовской модели (БМ) для расчетов показателей надежности грузового вагона на этапах жизненного цикла. На основании экспериментальных данных были определены показатели надежности деталей и узлов грузовых вагонов. Представленная методика позволяет использовать адаптированные БМ для оценки показателей надежности грузового вагона на этапах жизненного цикла, а также оптимизировать межремонтный срок и количество ремонтов в течение жизненного цикла модели вагона, при этом обеспечивается учет конструктивных особенностей.*

**Ключевые слова:** вагон, надежность, вероятность безотказной работы, отказ, механический износ, усталостное разрушение, жизненный цикл, теория Байеса, индивидуальная модель.

*The article discusses the rationale for the application of the Bayesian model (BM) for calculating the reliability indicators of a freight car at the stages of its life cycle. The life cycle includes such stages as the creation, production, operation, repair and utilization of the car. Each*

of the stages, in turn, consists of several operations and procedures. So, for example: the design phase begins with pre-design solutions and ends with the creation of the car; the production phase - from production to decommissioning, and the operation and maintenance phase - from the start of operation to the disposal of the car. BM allows to evaluate a posteriori (after the implementation of actions) probable hypothesis, if the facts on the implementation of certain actions have become known.

The work investigated the fulfillment of requirements for incompatibility of action groups (controlled processes), the data of which are used in models of adaptation of system parameters that control the reliability indicators of cars. A freight wagon is considered, in the nodes (wheel sets) of which mechanical wear and fatigue damage occur. For the study, the mileage of 160 thousand km was taken into account, since within these limits the indicated damages are independent, and the approximation error is an acceptable 16 %, which ensures the application of the Bayesian approach.

On the basis of experimental data, indicators of reliability of parts and components of freight cars were determined. The calculated reliability indicators and the developed individual scheme of the freight car model allowed us to construct the failure-proof matrix of individual elements and nodes of gondola cars 12-7023 for different operating times (runs). Analyzing the elements of the matrix, the vulnerable parts and assemblies of the gondola cars were identified, changes in the design of the cars were recommended, the overhaul run or repair time was increased.

The usage of adapted BM models according to the presented methodology allows assessing the reliability indicators at the stages of the life cycle, optimizing the turnaround time and number of repairs during the life cycle of the car model, while ensuring that structural features are taken into account, as well as the probabilities of failure-free operation of the wagon-bearing elements and components.

**Keywords:** car, reliability, probability of failure-free operation, failure, mechanical performance, fatigue failure, life cycle, Bayes theory, individual model of the car.

**Вступ.** Створення нового вагона – складний і тривалий процес, у якому беруть участь вчені, конструктори, дизайнери, випробувачі, фахівці з виробництва і експлуатації. Життєвий цикл вагона (ЖЦВ) являє собою сукупність взаємопов'язаних процесів створення та послідовної зміни стану систем вагона, розпочинаючи від формування вихідних вимог до закінчення експлуатації. Згідно з Єдиною системою державного управління якістю продукції життєвий цикл прийнято ділити на стадії – частини життєвого циклу, що встановлюються в нормативно-технічній документації і характеризуються певним станом вагона, видом передбачених робіт і їхніми результатами [1].

У подальшому вважаємо, що ЖЦВ включає етапи створення, виробництва і експлуатації, кожен з яких має свої особливості і містить моделі, що

складаються з таких операцій і процедур: етап створення починається з передпроектних досліджень і закінчується створенням вагона; етап виробництва включає постановку на виробництво, виробництво і зняття вагона з виробництва; на стадії експлуатації реалізується, підтримується і відновлюється якість вагона; етап утилізації передбачає зняття вагона з експлуатації і списання.

Визначення показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу є, безумовно, актуальною науково-прикладною проблемою для залізничного транспорту України, вирішення якої надасть можливість створити раціональну систему технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з урахуванням їхнього технічного стану, а також підвищити рівень безпеки руху та зменшити експлуатаційні витрати.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У вагонному господарстві важливим завданням є визначення прогнозу експлуатаційного ресурсу вагона, що дозволяє проводити коригування показників надійності на певних етапах життєвого циклу. У свою чергу оцінки ресурсу можуть позначитися на системі технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів. Формування прогнозованого ресурсу ґрунтується на оцінюванні показників надійності. Стандарт РД 50-890 встановлює методи визначення показників надійності залежності від плану спостережень [2, 3]. Він є складовою частиною комплексу стандартів щодо збору та обробки інформації про надійність. Зміна показників може вплинути на систему технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів. Відповідно до положень РД 50-890 під оцінками показників надійності розуміють точкову або інтервальну оцінку показника. При цьому для оцінювання показників надійності вагона необхідно виконати таке: обрати план випробувань на надійність,

провести планування випробувань, зібрати і опрацювати необхідну інформацію. Основні дані про надійність вагонів формуються під час експлуатації, які піддаються в подальшому статистичній обробці та аналізу.

Ґрунтуючись на роботи [4, 5], основні напрямки в дослідженні надійності рухомого складу стосувалися як окремих вузлів, так і одиниць рухомого складу в цілому (локомотивів, вагонів). Крім того, досліджувалися питання про оптимізацію міжремонтного пробігу як за часом, так і за напрацюванням (пробігом). Але в даних роботах методи засновані на марковських процесах, тобто не враховуються умови роботи одиниць рухомого складу до початку проведення досліджень.

В основу отримання показників надійності, безумовно, покладено збір та оброблення статистичних даних про відмови. На етапі експлуатації також можуть виявлятися недоліки проектування і виробництва вагона. Між етапами життєвого циклу вагона існує взаємозв'язок, що зображено на рис. 1.

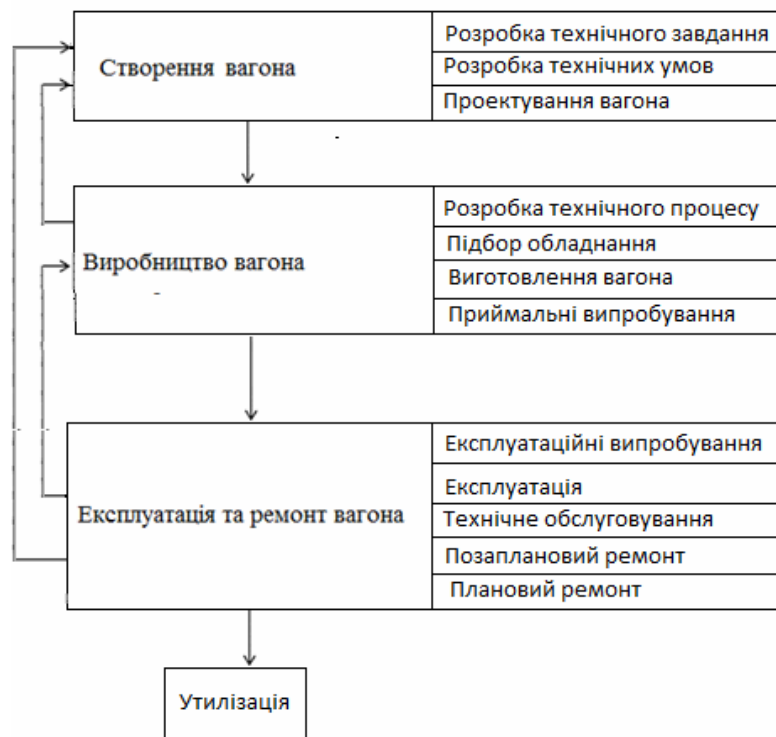


Рис. 1. Етапи життєвого циклу вантажного вагона

Зворотні зв'язки (рис. 1) відображують можливі послідовності процесів протягом життєвого циклу вагона.

Основною метою збору статистичних даних є визначення показників надійності вантажних вагонів на основі виявлення вузлів і деталей, які лімітують напрацювання до ремонту [6]. Методика збору експериментальних даних про показники надійності в процесі експлуатації рухомого складу повинна забезпечувати вчасне отримання повних, об'єктивних і достовірних даних про відмови та їхню оперативну обробку, координацію заходів щодо підвищення надійності, які проводяться проектними організаціями, заводами-виробниками і експлуатуючими організаціями. Дослідженню чинників зносу і пов'язаних з ним фізичних ефектів, які впливають на оцінювання показників надійності, присвячено багато наукових праць [7].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою нашої статті є обґрунтування байєсівської моделі (БМ) оцінювання показників надійності вантажного вагона на всіх етапах життєвого циклу [8], тобто визначення правомірності застосування БМ для розрахунків показників надійності вагонів або встановлення умов, коли комплекс передумов методу забезпечується в достатньому для практики ступені. БМ дозволяє оцінювати апостеріорні (післяреалізаційні події) імовірності гіпотези, якщо стали відомими факти щодо реалізації певних подій, а саме [9]

$$P(B_k | A) = \frac{P(B_k) \cdot P(A | B_k)}{\sum_i P(B_i) \cdot P(A | B_i)}, k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

$$MД[h : e_1, e_2] = MД[h : e_1] + MД[h : e_2](1 - MД[h : e_1]). \quad (4)$$

У системі оцінювання надійності вагонів адаптація параметрів моделі

де  $B_k$  – попарно несумісні події, разом з якими реалізується подія  $A$ , причому вважаються відомими події  $P(B_k)$ , а також умовні ймовірності  $P(A|B_i)$ .

На підставі БМ обираються рішення з мінімальним середнім ризиком результатів (розпізнавання відмови, стану системи в процесі експлуатації тощо).

Нашим завданням є дослідження виконання вимог несумісності груп подій (контрольованих процесів), дані про які використовуються в моделях адаптації параметрів систем, що оцінюють показники надійності вагонів.

**Основна частина дослідження.** В адаптивних моделях оцінювання надійності вантажних вагонів формула (1) реалізується як [10]

$$P(h|e_1 \wedge e_2) = \frac{P(e_1 \wedge e_2|h)P(h)}{P(e_1 \wedge e_2)}, \quad (2)$$

де  $h$  – гіпотеза;

$e_1$  – ознака, яка свідчить на користь гіпотези  $h$ ;

$e_2$  – ознака, яка свідчить проти гіпотези  $h$ .

Ознаки  $e_k$  ( $k=1, 2, \dots$ ) формуються за рахунок експертного оцінювання даних про відмови вантажних вагонів певних типів на етапах ЖЦВ.

На підставі експлуатаційних даних параметри моделі (2) змінюються таким чином:

$$KB[h:e] = MД[h:e] - MНД[h:e], \quad (3)$$

де  $KB[h : e]$  – впевненість у гіпотезі  $h$  з урахуванням ознаки  $e$ ;

$MД[h : e]$  – міра довіри до гіпотези  $h$  при заданій ознаці  $e$ ;

$MНД[h : e]$  – міра недовіри  $h$  при ознаці  $e$ ;

виконується шляхом переоцінки за формулою (1) коефіцієнтів (3) за критерієм

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n KB[h_i : e_j] \rightarrow \max \Big|_{n \rightarrow 0} . \quad (5)$$

Таким чином, параметри моделі оцінювання надійності вибирається так, щоб максимізувати функціонал (5). У формулі (5) показник  $[h_i : e_j]$  визначає міри довіри  $MD$  або недовіри  $MND$  вхідних даних, отриманих у процесах експлуатації.

Рівняння (4) встановлює міри достовірності гіпотез при декількох несумісних ознаках.

Дослідимо завдання оцінювання несумісності подій, контрольованих при відмовах вагонів. Розглянемо вантажний вагон, у вузлах (колісних парах) якого виникає механічний знос (рис. 2, а) і зміна фізико-механічних характеристик (рис. 2, б) – втомне руйнування. Наведені залежності ймовірності відмови від часу побудовані на основі обробки середньостатистичних даних по відмовах (6) вантажних вагонів ПАТ «Укрзалізниця» [11] з використанням методу раннього попередження [12–14].

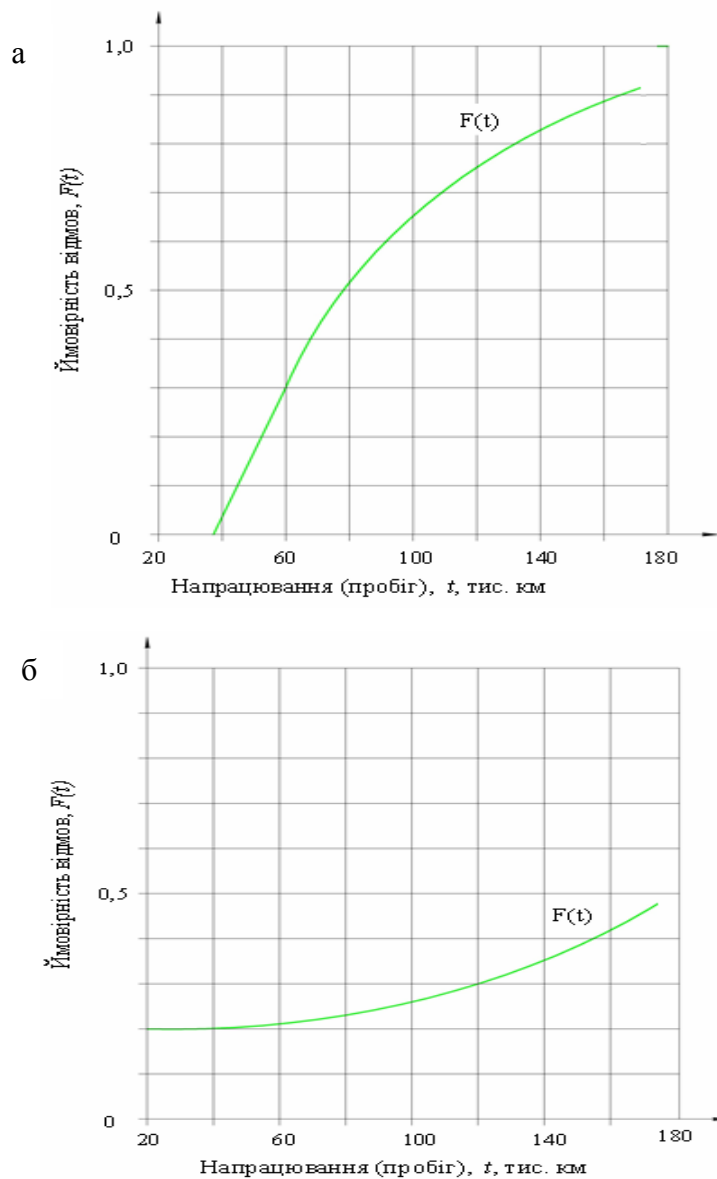


Рис. 2. Залежності ймовірності відмов вузлів вантажних вагонів (колісних пар) від пробігу: а – механічний знос; б – втомне руйнування

$$F(t) = \frac{n(t)}{N_o}, \quad (6)$$

де  $N_o$  – початкова кількість об'єктів;

$n(t)$  – кількість об'єктів, які відмовили за період напрацювання (пробігу).

Для дослідження, наскільки ці моделі руйнування вузла є незалежними, візьмемо залежність імовірності кожного типу відмови від пробігу (напрацювання) у межах 160 тис. км.

У зазначеній області середня похибка при апроксимації зв'язків відмов як незалежних становить 16 %, тобто має прийнятну для практики похибку, що

забезпечує застосування байєсівського підходу. Практично оцінимо середню величину ймовірності добутку відмов.

У подальшому використовуємо розглянутий метод БМ для дослідження зміни показників надійності вантажного вагона в експлуатації.

Зупиняємося на питаннях побудови моделей розрахунку оцінок надійності вантажних вагонів. Вважаємо, що вантажний вагон складається з п'яти основних вузлів: кузов, рама, ударно-тягові пристрої, гальмівне обладнання, ходові частини. Кожен з вузлів у свою чергу складається з окремих вузлів і деталей. Побудуємо загальну структурну схему вантажного вагона (рис. 3).

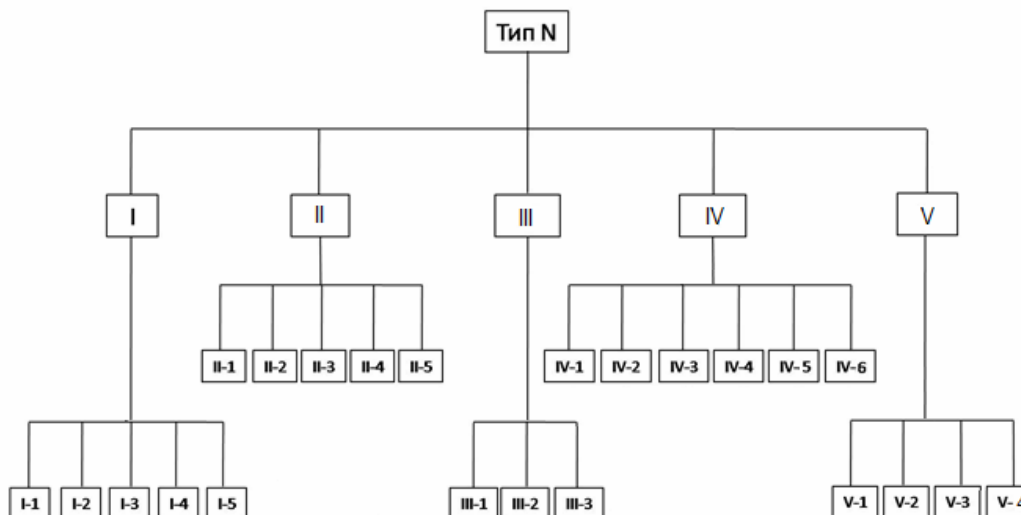


Рис. 3. Структурна схема моделі вагона N-го типу:  
 I – візки; II – гальмівне обладнання; III – ударно-тягові пристрої;  
 IV – кузов; V – рама

Для дослідження конкретних моделей вагонів структурна схема будується індивідуально.

У якості демонстрації сутності формування індивідуальної схеми напіввагона на рис. 4 представлено одну зі складових частин напіввагона моделі 12-732, візок моделі 18-100. Складовою частиною візка моделі 18-100 є буксовий вузол. Букса – це

система, що складається з двадцяти одного змішано з'єднаних елементів: корпус букси, лабіринтове кільце, підшипник задній, підшипник передній, кріпильна кришка, шість болтів, шість шайб, оглядова кришка, гумова прокладка, торцева гайка, стопорна планка. Індивідуальна схема серійного буксового вузла на роликівих підшипниках подана на рис. 5.

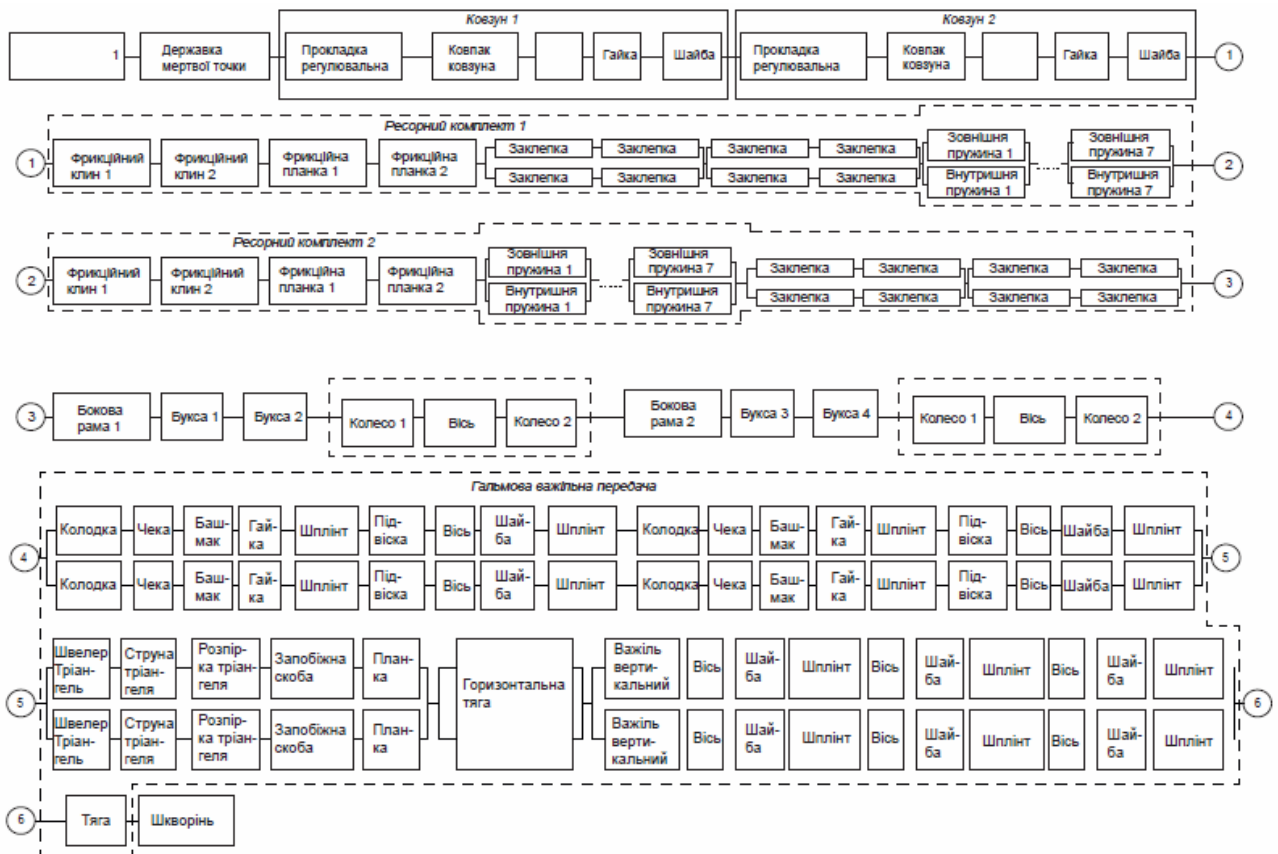


Рис. 4. Індивідуальна схема серійного візка моделі 18-100

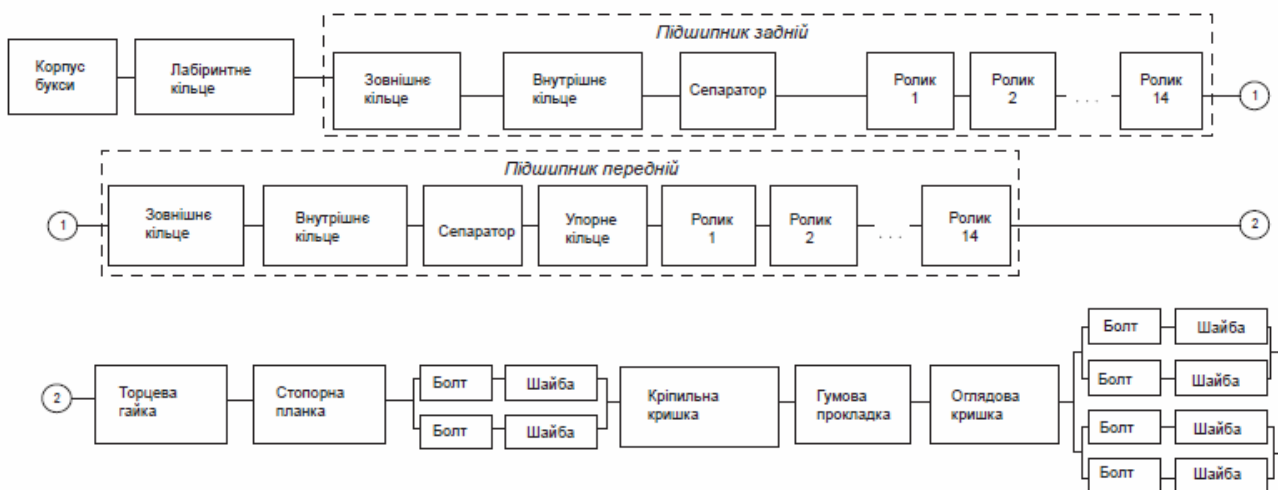


Рис. 5. Індивідуальна схема вагонної букси з роликовими підшипниками

Так само була побудована індивідуальна схема напіввагона моделі 12-7023, що дозволило з урахуванням експериментальних даних оцінити

показники надійності даного напіввагона на візках моделей 18-7020, 18-7055.

У таблиці наведені нормативні [15, 16] і розрахункові коефіцієнти відмов уніфіко-

ваних складових частин і елементів стосовно конструкції напіввагона моделі 12-7023. Розрахункові коефіцієнти визначались на основі експериментальних даних, що були отримані співробітниками ГНДЛ «Вагони»

ДПТУ на дослідному маршруті «Роковата-Ужгород-Кошице» [17] після чотирьох і восьми років підконтрольної експлуатації напіввагонів моделі 12-7023 як на візках моделей 18-7020, так і на візках 18-7055.

Таблиця

Коефіцієнти (частки) відмов уніфікованих складових частин  $\Delta\bar{\varpi}_i$  та елементів  $\Delta\bar{\varpi}_{ji}$  напіввагона моделі 12-7023

Номер з/п	Найменування розрахункової частини та елемента	Нормативні дані		Розрахункові величини			
		$\Delta\bar{\varpi}_i$ (1/10 <sup>5</sup> км)	$\Delta\bar{\varpi}_i$ (1/10 <sup>5</sup> км)	На візках моделі 18-7020		На візках моделі 18-7055	
				4 р. (1/10 <sup>5</sup> км)	8 р. (1/10 <sup>5</sup> км)	4 р. (1/10 <sup>5</sup> км)	8 р. (1/10 <sup>5</sup> км)
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>1-0</b>	<b>Візок</b>	<b>0,45</b>	-	<b>0,1900</b>	<b>0,2550</b>	<b>0,2310</b>	<b>0,3860</b>
1-1	Колісна пара	-	0,6400	0,3200	0,5210	0,4600	0,6010
1-2	Букса	-	0,3500	0,0080	0,0120	0,0460	0,0820
1-3	Бокова рама	-	0,0010	0,0005	0,0008	0,0008	0,0009
1-4	Надресорна балка	-	0,0012	0,0008	0,0009	0,0011	0,0012
1-5	Ресорний комплект	-	0,0073	0,0070	0,0071	0,0064	0,0070
<b>2-0</b>	<b>Гальмівне обладнання</b>	<b>0,10</b>	-	<b>0,0110</b>	<b>0,0120</b>	<b>0,0140</b>	<b>0,0180</b>
2-1	Триангель	-	0,0500	0,0460	0,0480	0,0410	0,0480
2-2	Башмак-підвіска	-	0,0900	0,0600	0,0730	0,0580	0,0729
2-3	Важільна передача	-	0,0400	0,0230	0,0340	0,0230	0,0340
2-4	Гальмівні пристрої	-	0,1300	0,0700	0,0820	0,0700	0,0820
2-5	Трубопровід, рукава, арматура	-	0,6400	0,09	0,219	0,091	0,222
<b>3-0</b>	<b>Ударно-тягові пристрої</b>	<b>0,08</b>	-	<b>0,0162</b>	<b>0,0231</b>	<b>0,0160</b>	<b>0,0230</b>
3-1	Корпус автозчепу в зборі	-	0,7500	0,4200	0,5100	0,4200	0,5130
3-2	Тяговий хомут і клин	-	0,0200	0,0140	0,0150	0,0136	0,0149
3-3	Поглиналильний апарат	-	0,2300	0,1200	0,1800	0,1200	0,1800
<b>4-0</b>	<b>Кузов</b>	<b>0,36</b>	-	<b>0,0800</b>	<b>0,2008</b>	<b>0,0820</b>	<b>0,2000</b>
4-1	Стійки шворневі	-	0,0200	0,0100	0,0140	0,0100	0,0141
4-2	Стійки кутові	-	0,1000	0,2300	0,3300	0,2300	0,3290
4-3	Стійки проміжні	-	0,0300	0,0200	0,0260	0,0210	0,0260
4-4	Двері торцеві	-	0,5000	0,3800	0,4800	0,3760	0,4800
4-5	Люки розвантажувальні	-	0,2300	0,1500	0,2200	0,1500	0,2186
4-6	Верхня об'язка та інші пристрої	-	0,1200	0,0900	0,1100	0,0890	0,1120
<b>5-0</b>	<b>Рама</b>	<b>0,01</b>	-	<b>0,0040</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0040</b>	<b>0,0680</b>
5-1	Балка хребтова в складанні	-	0,010	0,0028	0,003	0,0030	0,0030
5-2	балки шворневі	-	0,600	0,0500	0,056	0,050	0,0590
5-3	П'ятники і підп'ятники	-	0,1300	0,1110	0,118	0,1170	0,1250
5-4	Брус лобовий і поперечні балки	-	0,2500	0,095	0,125	0,094	0,1250



За схемами рис. 3–5, ураховуючи послідовно-паралельні зв'язки елементів, можна розрахувати загальні оцінки показників надійності вузлів і моделі вагона в цілому. На підставі отриманих експериментальних даних було побудовано матрицю, яка складається з п'яти рядків (за кількістю основних вузлів вагона). Кожний

рядок матриці містить імовірності безвідмовної роботи окремих елементів вузлів вагона. Покажемо на прикладі напіввагона моделі 12-7023, як буде змінюватись матриця впродовж експлуатації. Для напіввагона моделі 12-7023 після 4 років експлуатації матриця буде мати такий вигляд:

$$\begin{bmatrix} 0,9984 & 0,9979 & 0,9985 & 0,9967 & 0,9987 \\ 0,9999 & 0,9974 & 0,9989 & \mathbf{0,9964} & 0,9983 \\ 0,9987 & 0,9978 & 0,9984 & 0,9968 & 0,9981 \\ 0,9981 & 0,9979 & 0,9988 & 0,9967 & 0,9982 \\ 0,9984 & 0,9989 & 0,9983 & 0,9968 & 0,0000 \\ 0,9983 & 0,0000 & 0,9982 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,9988 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix} . \quad (7)$$

Значення в матриці отримано при середньостатистичній обробці різних елементів напіввагонів моделі 12-7023, використовуючи правила і теореми теорії ймовірностей; середній розкид значень вимірюваних характеристик був у межах  $\pm 7\%$ . Будемо оцінювати надійність на

основі найгіршої ланки. Тоді ймовірність безвідмовної роботи нового напіввагона моделі 12-7023 дорівнює  $P = 0,9964$ .

Для напіввагона моделі 12-7023 після 8 років експлуатації матриця показників надійності буде мати такий вигляд:

$$\begin{bmatrix} 0,9872 & 0,9912 & 0,9902 & 0,9912 & 0,9948 \\ \mathbf{0,9843} & 0,9923 & 0,9901 & 0,9922 & 0,9954 \\ 0,9857 & 0,9931 & 0,9899 & 0,9918 & 0,9957 \\ 0,9868 & 0,9934 & 0,9892 & 0,9923 & 0,9959 \\ 0,9875 & 0,9939 & 0,9887 & 0,9921 & 0,0000 \\ 0,9874 & 0,0000 & 0,9894 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,9848 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix} . \quad (8)$$

Наведені значення отримано аналогічно тому, як і в попередній матриці. Імовірність безвідмовної роботи напіввагона моделі 12-7023 після 8 років експлуатації буде дорівнювати  $P = 0,9843$ . Таким чином, на зниження загальної ймовірності безвідмовної роботи напіввагона моделі 12-7023 значно впливають деталі візка (перший стовпчик). Використання візків моделі 18-7055 менш доцільне порівняно з візками моделі 18-7020 (у даному випадку  $P = 0,967$ ).

Підтримувати рівень надійності вагона на необхідному рівні можна, змінюючи чи модернізуючи окремі ресурсовизначальні складові відповідного вузла. Для цього використовують наведені дані матриці для ресурсовизначальних елементів вузлів вагона – окремо дані кожного стовпця. За рахунок цього можна також досягти підвищення рівня безпеки руху поїздів. Результати проведених досліджень показали, що використання візків моделі 18-7020 на напіввагонах

моделі 12-7023 є більш доцільним і виправданим.

Як підсумок, наведемо структуру ремонтів для напіввагона моделі 12-7023 з

візками моделей 18-7055 та 18-7020 у вигляді, поданому на рис. 6.

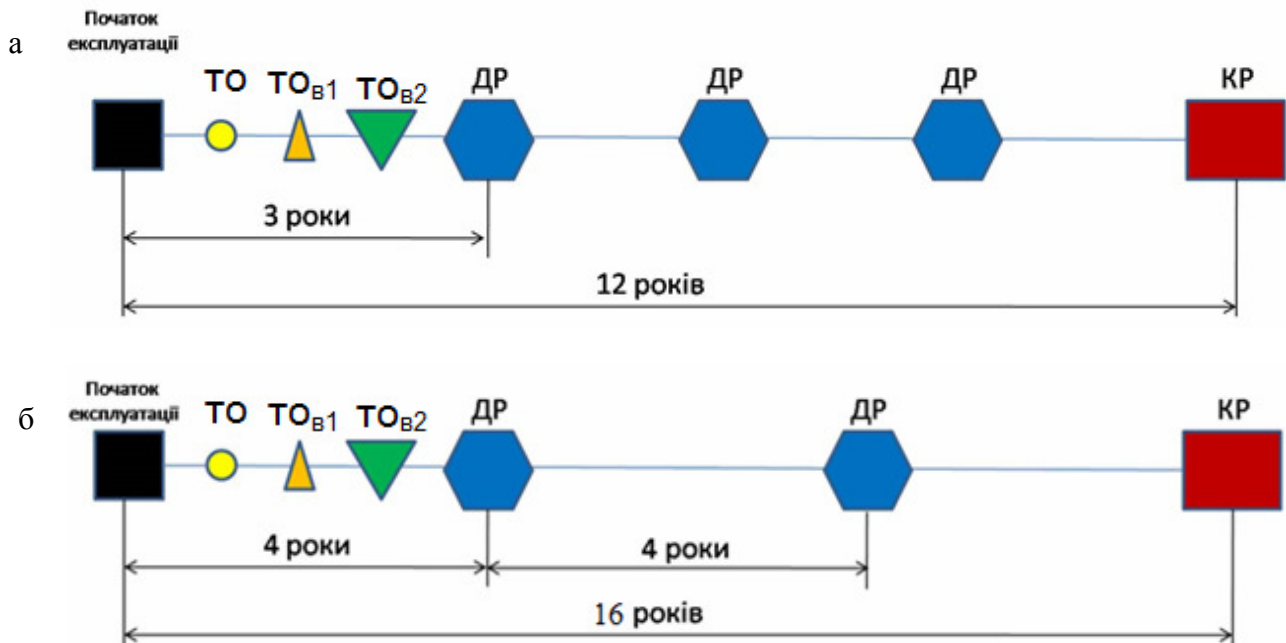


Рис. 6. Структура ремонтів напіввагона моделі 12-7023 з візками моделей:  
а – 18-7055; б – 18-7020

Система технічного обслуговування і ремонтів вантажних вагонів передбачає виконання таких видів робіт: **ТО, ТО<sub>В1</sub>, ТО<sub>В2</sub>** – технічне обслуговування вагонів з відчепленням і без відчеплення, як порожніх, так і завантажених; **ДР, КР** – плановий ремонт відповідно деповський і капітальний.

**Висновки.** Використання адаптованих БМ моделей за поданою методикою дозволяє оцінити показники надійності на етапах життєвого циклу, оптимізувати міжремонтний термін і кількість ремонтів впродовж життєвого циклу моделі вагона, при цьому забезпечується урахування конструктивних особливостей, а також імовірностей безвідмовної роботи ресурсовизначальних елементів вузлів вагонів.

### Список використаних джерел

1. Подсорин, В. А. Оценка стоимости жизненного цикла подвижного состава [Текст] : учеб.-метод. пособие по решению индивидуального задания по дисциплине «Экономические методы управления жизненным циклом производственных и социальных систем» / В. А. Подсорин, А. В. Харитоновна. – М. : МГУПС (МИИТ), 2016. – 34 с.
2. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным [Текст]. – Введ. 1.01.1991 г. – М., 1991. – 133 с.

3. Рубан, А. И. Методы анализа данных [Текст] : учеб. пособие / А. И. Рубан. – 2-е изд., исправл. и доп. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. – 319 с.
4. Третьяков, А. В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов в эксплуатации [Текст] : монография / А. В. Третьяков. – СПб. : Ом-Пресс, 2004. – 348 с.
5. Морчиладзе, И. Г. Модификация конструкции и технического обслуживания вагона-цистерны в условиях транспортной компании [Текст] / И. Г. Морчиладзе. – СПб. : «ОМ-Пресс», 2003. – 158 с.
6. Мурадян, Л. А. К вопросу о планах испытаний надежности механических систем [Текст] / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 157. – С.119-127.
7. Мурадян, Л. А. Построение моделей отказов грузовых вагонов на основе байесовского подхода [Текст] / Л. А. Мурадян // EUREKA: Physics and Engineering. – 2016. – С. 54–60.
8. Беляев, Ю. К. Статистические методы обработки результатов испытаний на надежность [Текст] / Ю. К. Беляев. – М. : Знание, 1982. – 384 с.
9. Богдановф, Дж. Вероятностные методы модели накопления повреждений [Текст] / Дж. Богдановф, Ф. Козин. – М. : Мир, 1989. – 344 с.
10. Мямлін, С. В. Застосування основних законів розподілу випадкових величин для визначення показників надійності вагонів [Текст] / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Сер. Транспортні системи і технології. – 2015. – Вип. 26–27. – С. 172-180.
11. Довідник основних показників роботи залізниць України (2004-2014 роки) [Текст] / Мін-во інфраструктури України; Укрзалізниця; Н. В. Котіль. – К., 2015. – 59 с.
12. Коллакот, Р. Диагностика повреждений [Текст] : пер. с англ. / Р. Коллакот. – М. : Мир, 1989. – 512 с.
13. Nebojsa Vojovic, Branislav Boskovic, Milos Milenkovic & Aleksandar Sunjic (2010) A two-level approach to the problem of rail freight car fleet composition [Text] // Transport, 25:2, 186-192, DOI: 10.3846/transport.2010.23.
14. Myamlin, S. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars [Text] / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha, O. Kyryl'chuk // Proc. of 21st Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2017». – Kaunas, 2017. – P. 973-976.
15. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) [Текст]. – Чинний з 01.07.2015. – К., 2010. – 162 с.
16. Нормы для расчета и проектирования вагонов, железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М. : ГосНИИВ, ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
17. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения [Текст] / О. М. Савчук, В. К. Бруякин, Л. А. Мурадян [и др.] // Вагонный парк. – 2009. – № 5/6. – С. 30–32.

---

Мямлін Сергій Віталійович, д-р техн. наук, професор, перший заступник директора філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту ПАТ «Укрзалізниця»».

Тел.: +38(044) 528 93 01. E-mail: sergeymyamlin@gmail.com ORCID 0000-0002-7383-9304.

Скалозуб Владислав Васильович, д-р техн. наук, професор, декан факультету «Технічна кібернетика», кафедра комп'ютерних інформаційних технологій Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: +38(056) 373 15 52. E-mail: scalozub.vl.v@gmail.com ORCID: 0000-0002-1941-4751.

Мурадян Леонтій Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: +38 (056) 373 15 19. E-mail: leontymuradian@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1781-4580.

---

Мямлин Сергей Витальевич, д-р техн. наук, профессор, первый заместитель директора филиала «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» ПАО «Укрзалізниця». Тел. +38 (044) 528 93 01. E-mail: sergeymyamlin@gmail.com ORCID 0000-0002-7383-9304.

Скалозуб Владислав Васильевич, д-р техн. наук, профессор, декан факультета «Техническая кибернетика», кафедра компьютерных информационных технологий Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Тел. +38(056) 373 15 52. E-mail: scalozub.vl.v@gmail.com ORCID: 0000-0002-1941-4751.

Мурадян Леонтий Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Тел.: +38 (056) 373 15 19. E-mail: leontymuradian@gmail.com. ORCID 0000-0003-1781-4580.

Miamlyn Sergiy, D. Sc. (Tech.), professor, Branch "Sey" of jsc "Ukrzaliznytsia" Branch "Rail transport scientific and engineering institute" of public joint stock company "Ukrainian Railway". E-mail: sergeymyamlin@gmail.com ORCID 0000-0002-7383-9304.

Skalozub Vladislav, D. Sc. (Tech.), professor, Dean of the Faculty Technical Cybernetics. Department of Computer Information Technologies of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. Тел.: +38(056) 373 15 52. E-mail: scalozub.vl.v@gmail.com ORCID: 0000-0002-1941-4751.

Muradian L., PhD (Tech.), associate professor, Department of Car and Car Facilities, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. Tel.:+38 (056) 373 15 19. E-mail: leontymuradian@gmail.com ORCID: 0000-0003-1781-4580.

Статтю прийнято 02.01.2019 р.