

УДК 629.17

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.166.2016.92809>

## ГРАНИЧНИЙ РЕСУРС ВАГОНА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд. техн. наук Л. А. Мурадян

## ПРЕДЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ВАГОНА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук Л. А. Мурадян

## THE LIMITING RESOURCE CAR DURING OPERATION

Phd. tehn. L. A. Muradian

*Показано, що ресурс структурних елементів вагонів залежить від швидкості накопичення дефектів у матеріал. Процес накопичення дефектів є випадковим, а ресурс розподіляється за визначеним мовірнісним законом. Із кінетичної концепції руйнування матеріалів відомо, що в навантаженому елементі з часом накопичуються дефекти, у результаті чого відбуваються незворотні зміни, що призводять до руйнування. Така закономірність накопичення пошкоджень зберігається як за постійних, так і за змінних значень напруження. На основі кінетичної концепції руйнування матеріалів дано оцінку теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням проведення*

технічних дій (технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів) та, з урахуванням інноваційних конструктивних і технологічних рішень у процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс.

**Ключові слова:** надійність, довговічність, граничний ресурс, вагони, накопичення пошкоджень.

Показано, что ресурс структурных элементов вагонов зависит от скорости накопления дефектов в материал. Процесс накопления дефектов – случайный, а ресурс распределяется по определенным вероятностным законам. С кинетической концепции разрушения материалов известно, что в нагруженном элементе со временем накапливаются дефекты, в результате чего происходят необратимые изменения, приводящие к разрушению. Подобная закономерность накопления повреждений сохраняется как при постоянных, так и при переменных значениях напряжений. На основе кинетической концепции разрушения материалов дана оценка теоретическому предельному ресурсу структурных элементов вагона с учетом проведения технических действий (технического обслуживания, текущего, деповского, капитального ремонтов) и, с учетом инновационных конструктивных и технологических решений в процессе ремонта вагона в случае, когда применяются новые материалы или технологии, меняющие значения величин износа и соответственно имеют прямое влияние на ресурс.

**Ключевые слова:** надежность, долговечность, предельный ресурс, вагоны, накопления повреждений.

The paper shows that the resource structural elements of cars depends on the rate of accumulation of defects in the material, the process of accumulation of defects - casual, and resources are allocated according to certain laws of probability. Since the kinetic concept of fracture eventually known materials that accumulate in the loaded element defects, resulting in irreversible changes that lead to destruction. This pattern of damage accumulation is stored both in permanent and variable voltage. On the basis of the kinetic conception of failure of materials assessed the theoretical limit resource structural car components, taking into account of technical activities (maintenance, repair, depot, overhaul), and taking into account the innovative design and technological solutions in the process of repair of the car when new materials are used or technologies that change the values of wear, and thus have a direct impact on the resource.

**Keywords:** reliability, durability, limiting resource, cars, damage accumulation.

**Вступ.** Найбільш важливими вимогами, що ставляться до рухомого складу залізниць, є підвищення надійності, збільшення ресурсу вузлів і деталей, досягти яких можна за допомогою створення нових або вдосконалення старих зразків вагонної техніки [1 – 5].

Надійність контролюється на всіх етапах створення нових зразків вагонів, у тому числі і під час експлуатаційних випробувань, при яких накопичуються статистичні дані про їх зносний стан, відмови і пошкодження [2, 4].

Збір і первинна обробка інформації, з урахуванням подальшої повної математичної обробки, про надійність вагонів повинна забезпечити [2, 4, 5]:

- отримання порівнянних і об'єктивних даних про надійність вагонів та їх складових частин;

- можливість узагальнення результатів обробки інформації про надійність.

Збір та обробка інформації про надійність вагонів повинна проводитися з метою отримання достовірних даних, що забезпечують можливість і проведення [6-8]:

- конструктивних удосконалень з метою підвищення надійності;

- удосконалень технології виготовлення, складання, контролю та випробувань, спрямованих на забезпечення необхідного рівня надійності;

- організаційно-технічних заходів, спрямованих на дотримання правил технічної експлуатації, підвищення ефективності технічного обслуговування, підвищення якості ремонту та оптимізації витрат на його проведення.

Надійність вагонів закладається на етапі проектування та реалізується у процесі виготовлення. Від конструкторської надійності буде залежати успішне функціонування вагонів у тих чи інших умовах експлуатації.

На етапі проектування використовують довідкову інформацію про режими роботи вагонів і навантаження, які будуть нести елементи, деталі та вузли або вагон у цілому. При розрахунках конструктивних елементів вагона задаються довірчими інтервалами, що наведені в нормативно-довідковій літературі і, в результаті, отримують необхідну ймовірність безвідмовної роботи.

Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій оснований на використанні параметричної моделі «міцність – навантаження». Методи цієї групи є найстарішими методами теорії надійності [6, 7].

В основу розрахунків надійності з використанням цієї моделі закладено те, що кожен елемент конструкції має певну міцність по відношенню до діючих на нього навантажень. При цьому під навантаженням слід розуміти будь-які чинники, що впливають на ефективність функціонування вагона, а саме: механічні дії, температури, вібрації, коливання тощо, а міцність буде характеризувати здатність вагона зберігати свої закладені властивості при впливі зазначених навантажень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для багатьох елементів вагона

критерієм, що визначає ресурс окремих деталей, є їх зношування, тобто поступова зміна розмірів і форми робочих поверхонь, а також властивостей їх матеріалів. При цьому збільшуються зазори в сполученнях рухомих деталей і порушується щільність нерухомих посадок. Виниклі дефекти і пошкодження призводять до порушення режиму роботи вагона в цілому і до його передчасних відмов.

Усі фактори, що визначають надійність, безвідмовність і довговічність вагонів, можна розділити на три групи [4-8]:

- міцнісні властивості, зносостійкість і корозійна стійкість матеріалів елементів вагонів;

- експлуатаційні чинники;

- рівень організації технічного впливу на технічний стан.

Оскільки міцнісні властивості, зносостійкість і корозійна стійкість матеріалів елементів вагонів мають безпосередній вплив на параметр надійності – довговічність, тому далі розглянуто основні характеристики цього параметра.

Згідно з дослідженнями, проведеними в роботах [6 – 9], довговічність, ресурс і напрацювання різноманітних матеріалів деталей машин можна описати за допомогою рівняння

$$\tau = \tau_o \exp\left(\frac{U_o - \gamma\sigma}{kT}\right), \quad (1)$$

де  $\tau_o$ ,  $U_o$  і  $\gamma$  – параметри, що характеризують відповідно міцнісні властивості, енергію активації та коефіцієнт чутливості матеріалів структурних елементів вагонів;

$\sigma$  – прикладене напруження до складових структурних елементів вагонів;

$T$  – абсолютна температура;

$k$  – стала Больцмана.

Коефіцієнт чутливості  $\gamma$  характеризує різноманітні внутрішні фізико-хімічні процеси в матеріалах структурних елементів вагонів: дифузія в

об'ємі матеріалу і поверхневих шарах, накопичення і переміщення точкових дефектів і дислокацій; руйнування міжатомних зв'язків у металах і сплавах, руйнування хімічних зв'язків, ланцюгів, макромолекул включень; дія поверхнево-активних речовин. Цей коефіцієнт змінюється із зміною міцності одного й того ж самого матеріалу: чим більша міцність, тим менший  $\gamma$ .

**Визначення мети та задачі дослідження.** У статті необхідно дати оцінку на основі кінетичної концепції руйнування матеріалів теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням проведення технічних дій (технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів) та з урахуванням інноваційних конструктивних та технологічних рішень у процесі ремонту вагона.

**Основна частина дослідження.** Оскільки ресурс структурних елементів вагонів залежить від швидкості накопичення дефектів у матеріалі, а процес накопичення дефектів є випадковим, то й ресурс розподіляється за визначеним ймовірнісним законом.

Із кінетичної концепції руйнування матеріалів [6-8] відомо, що в навантаженому елементі з часом накопичуються дефекти, у результаті чого відбуваються незворотні зміни, що призводять до руйнування. Така закономірність накопичення пошкоджень зберігається як за постійних, так і за змінних значень напруження.

Сумарний стохастичний вплив дефектів у матеріалі й навантаження відображено у фізико-математичному підході трактування міцності Б. С. Сотськова [6-8], згідно з яким імовірність виникнення відмов під впливом руйнівних сил будь-якої природи подається величиною

$$q = \int_0^t \frac{\partial q}{\partial t} dt = \int_0^t \frac{\partial q}{\partial(\Delta\Pi)} \cdot \frac{\partial(\Delta\Pi)}{dt}, \quad (2)$$

а інтенсивність відмов

$$\lambda = \frac{\partial q}{\partial t}. \quad (3)$$

При  $P \rightarrow 1$ :

$$\lambda = \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial(\Delta\Pi)} \cdot \frac{\partial(\Delta\Pi)}{dt}, \quad (4)$$

де  $\Delta\Pi$  – запас міцності;

$\frac{\partial(\Delta\Pi)}{dt}$  – швидкість зміни запасу

міцності в результаті накопичення дефектів в об'ємі і на поверхні відповідного елемента під впливом фізико-хімічних процесів;

$\frac{\partial q}{\partial(\Delta\Pi)}$  – визначає ймовірнісні міцнісні

характеристики матеріалів (співвідношення навантаження і міцності відповідного взаємодіючого структурного елемента вагона).

Із наведених виразів (2) – (4) випливає, що якщо співвідношення навантаження й міцності не зумовлює відмов, то  $\lambda$  характеризує зміну міцності внаслідок тільки внутрішніх процесів (старіння матеріалу), а в умовах гранично повільних внутрішніх процесів основну роль відіграють навантажувально-міцнісні особливості. В умовах експлуатації складових структурних елементів вагонів проявляються обидва чинники.

На рисунку наведемо схему руйнування структурних елементів вагона, на якій навантаження  $S_p(t)$  зображено у вигляді нормального стаціонарного процесу, а міцність  $S_n(t)$  – у вигляді випадкової функції, що монотонно спадає під впливом накопичення дефектів матеріалів. Якщо криві, що відображають зазначені характеристики, мають загальну область, то міцність перевищує діючі навантаження.

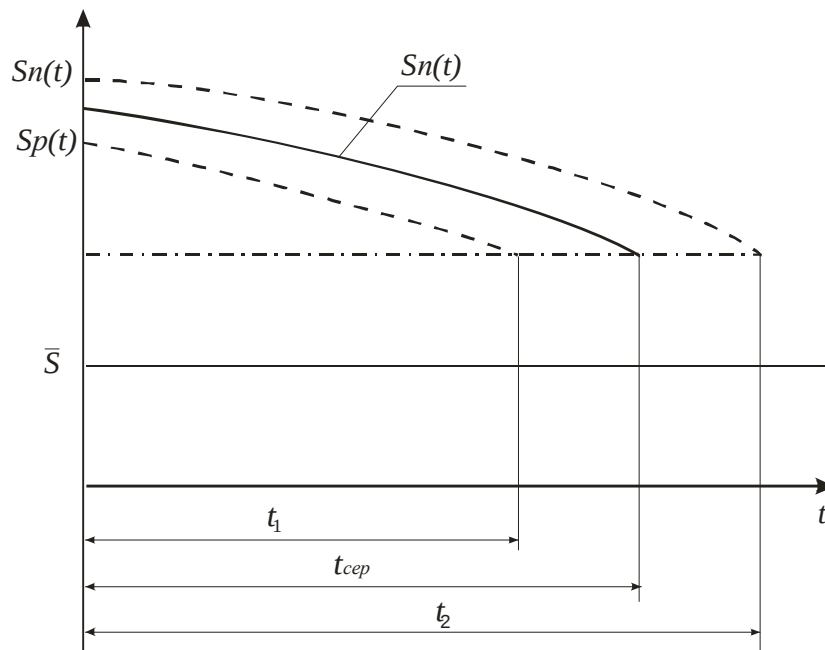


Рис. Схема руйнування структурних елементів вагона

На основі наведеної схеми руйнування та врахувавши залишковий ресурс можна спрогнозувати середній граничний ресурс як структурних елементів вагона, так і вагона у цілому:

$$\bar{T} = t_{cp} + t_{зал}, \quad (5)$$

де  $t_{cp}$  – теоретичний граничний ресурс будь-якого структурного елемента вагона

згідно з кінетичною концепцією руйнування для його сполучених матеріалів, при якому на практиці повинна припинятись експлуатація вузла чи вагона в цілому.

Згідно зі схемою руйнування теоретичний граничний ресурс структурних елементів вагона з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (поточного, деповського, капітального) можна подати у такому вигляді:

$$t_{cp} = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=1}^n \bar{t}_i \pm \sum_{i=1}^n k_{ti} \sigma_{ti} + \sum_{i=1}^n t_{pi} P_i(\tau) R_a(z) \pm \sum_{i=1}^n k_{ti} \sigma_{tpp} \right) K_I, \quad (6)$$

де  $\bar{t}_i$  – середня тривалість безвідмовної роботи структурних елементів вагона до повного відновлення технічного стану за умови виконання технічного обслуговування та ремонту;

$k_{ti}$  – довірчий коефіцієнт, який залежить від умов експлуатації вагона й закону розподілу його ресурсу на  $i$ -му життєвому циклі;

$\sigma_{ti}$  – середньоквадратичне відхилення на  $i$ -му життєвому циклі;

$t_{pi}$  – напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту на  $i$ -му життєвому циклі вагона;

$n$  – кількість технічних обслуговувань та ремонтів;

$\sigma_{cpp}$  – середнє квадратичне відхилення напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту вагона;

$R_i(z)$  – імовірність виконання задачі при технічному обслуговуванні та ремонті на  $i$ -му життєвому циклі вагона;

$P_i(\tau)$  – імовірність безвідмовної роботи між роботами технічного обслуговування та ремонту на  $i$ -му життєвому циклі вагона;

$K_I$  – коефіцієнт, який урахує інноваційні конструктивні та технологічні рішення в процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс. Цей коефіцієнт можна розрахувати за такою формулою:

$$K_I = k_{np} \frac{I_{запр}}{I_{зад}}, \quad (7)$$

де  $k_{np}$  – коефіцієнт, що враховує пристосованість інноваційних конструктивних та

технологічних рішень у процесі ремонту вагона, чисельно характеризує відповідні зміни величин зносу в порівнянні з базовою конструкцією вагона;

$I_{зад}$ ,  $I_{запр}$  – бальна характеристика заданого (зазвичай повинна дорівнювати 1) та запропонованого (інноваційного) рішення в процесі ремонту вагона (значення повинне бути  $>1$ ).

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** На основі кінетичної концепції руйнування матеріалів дано оцінку теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням проведення технічних дій (технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів) та, з урахуванням інноваційних конструктивних та технологічних рішень у процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс.

### Список використаних джерел

1. Myamlin, S. V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Text] / S. V. Myamlin, D. M. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – № 7. – С. 61-66.
2. Мурадян, Л. А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності [Текст] / Л. А. Мурадян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 52 (1161). – С.127-130.
3. Мямлін, С. В. Проблема визначення терміну «надійність». Методологія побудови та вивчення надійності вантажних вагонів [Текст] / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, Д. М. Барановський // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 110–117. – doi: 10.15802/stp2015/57034.
4. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. – 2012. – Vol. 14, № 2. – P. 154-159.
5. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines [Text] / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. – 2012. – № 1. – P. 5 – 10.
6. Иванова, В. С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов [Текст] / В. С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 160 с.

7. Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин [Текст] / М. А. Балтер. – М.: Машиностроение, 1978. – 182 с.

8. Барановський, Д. М. Самоорганізація структур в процесі дисипації [Текст] / Д. М. Барановський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 8(39). – С. 28–30.

9. Барановський, Д. М. Визначення залишкового ресурсу трибо систем [Текст] / Д. М. Барановський // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – №4. – С. 127-129.

---

Мурадян Леонтій Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства  
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.  
Тел. (056) 374-00-69.

Muradian Leonti, Phd. techn., Associate Professor, Department "Cars and Carriage Facilities", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel. (056) 374-00-69.

Стаття прийнята 10.11.2016 р.