

УДК 629.17

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.164.2016.92507>

**ОПИС ВІДМОВ ВАГОНА ПРИ ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Канд. техн. наук Л.А. Мурадян

**ОПИСАНИЕ ОТКАЗОВ ВАГОНА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Канд. техн. наук Л.А. Мурадян

**DESCRIPTION BOUNCE THE CAR WHEN THE PROCESS OF MANUFACTURING THE STRUCTURAL ELEMENTS**

Phd. tehn. L.A. Muradian

*У роботі показано, що опис відмов і оцінку технологічної надійності вагона необхідно проводити з точки зору неприпустимості утворення дефектів, а критичні пошкодження структурних елементів вагона будуть носити характер випадкових подій. Тому запропоновано потік таких відмов розглядати як пуассонівський, тобто такий, якому властива відсутність наслідків і ординарності. Остання властивість матиме місце, якщо розглядати критичні пошкодження окремих структурних елементів вагона без урахування випадків розвитку небезпечних подій під час руху поїздів. Тобто відмова, що призводить до одночасного виходу з ладу двох і більше структурних елементів вагона, буде вважатись однією відмовою.*

**Ключові слова:** відмови, вагони, технологічний процес виготовлення, структурні елементи, критичні пошкодження.

*В работе показано, что описание отказов и оценку технологической надежности вагона необходимо проводить с точки зрения недопустимости образования дефектов, а критические повреждения структурных элементов вагона будут носить характер случайных событий. Поэтому предложено поток таких отказов рассматривать как пуассоновский, то есть такой, которому свойственно отсутствие последствий и ординарности. Последнее свойство имеет место, если рассматривать критические повреждения отдельных структурных элементов вагона без учета случаев развития опасных событий во время движения поездов. То есть отказ, который приведет к одновременному выходу из строя двух и более структурных элементов вагона, будет считаться одним отказом.*

**Ключевые слова:** отказ, вагоны, технологический процесс изготовления, структурные элементы, критические повреждения.

*Exploring the process reliability of the structural elements of the car in terms of non-technological manufacturing defects noted that the reliability decrease is due to the formation of defects, which have the character of violation of the integrity of the structural elements of the car. It is shown that the description of failures and assessment of technological reliability of the car should be carried out from the point of view of the inadmissibility of the formation of defects and critical damage to structural elements of the car will be in the nature of random events. Therefore, the flow of such failures prompted considered as Poisson, that is, which is peculiar to the absence of effects and ordinary. The latter property is the case, if we consider the critical damage to individual structural elements of the car without taking into account the cases of hazardous events during movement of trains. That is the failure of which will result in the simultaneous failure of two or more structural elements of the car, it will be considered a failure.*

**Key words:** failure, cars, manufacturing process, structural elements, critical damage.

**Вступ.** Залізничний транспорт в Україні, як і у світі в цілому, займає значну частину ринку послуг перевезень [1, 2]. При цьому вантажні вагони в структурі загальної кількості відмов залізничного транспорту знаходиться на одних з перших позицій.

Технологічну надійність можна охарактеризувати процесами виготовлення вагона, тобто визначальними будуть фізико-механічні та фізико-хімічні властивості виконаних елементів і деталей, а також подальшими процесами з'єднання цих елементів і деталей в окремі вузли та вагон у цілому.

Даний вид надійності повинен описуватись на етапі технологічних процесів виготовлення елементів, деталей, вузлів чи вагона в цілому. Крім того,

отримані в процесі виготовлення зазначені елементи з відповідними фізико-механічними та фізико-хімічними властивостями будуть впливати на їх триботехнічні характеристики в процесі експлуатації вагона, а загалом зміна цих властивостей буде визначати рівень технологічної надійності.

В останні роки увагу дослідників різних напрямків привертають властивості робочих поверхонь елементів і деталей, які є ресурсовизначальними для різних видів техніки, у тому числі вантажних вагонів [3-7]. Навчитися створювати поверхні тертя деталей машин із заданими властивостями і управляти фізико-хімічними процесами, що протікають у них, – одне з першочергових завдань, що стоїть перед фахівцями залізничного транспорту, які виготовляють,

експлуатують, обслуговують і ремонтують рухомий склад. Знос складових елементів і деталей є дестабілізатором технічного стану вантажних вагонів. Забезпечити керований ресурс вагонів у даному випадку можливо стабілізацією стаціонарного технічного стану трибосистем, отже експлуатаційних властивостей елементів і деталей. Останнє досягається за допомогою застосування різних технологій, спрямованих на підвищення фізико-механічних і триботехнічних характеристик деталей [4, 5, 7, 8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У світовій практиці якість технології оцінюється не тільки високими технічними, але й економічними показниками [1-3]. Перевага віддається високоефективним безвідходним і ресурсозберігаючим технологіям, які забезпечують високу якість і надійність виробів. Особливу цінність технології набувають у тому випадку, якщо вони, використовуючи відходи виробництва, забезпечують деталям властивості, які не поступаються існуючим.

Успішне вирішення цих завдань полягає, по-перше, у розробленні нових технологій підвищення надійності, довговічності і зносостійкості; по-друге, в узагальненні розрізаних експериментальних даних за механізмом зносу з метою створення загальної бази даних «тертя-знос-руйнування» різного роду матеріалів від початку їх виготовлення до повного руйнування. А після необхідно проводити пошуки і розробляти нові технології виготовлення елементів і деталей, які знижують знос, підвищують фізико-механічні та триботехнічні властивості матеріалів на стадії їх виготовлення і обробки.

З іншого боку, підвищення ресурсу і довговічності елементів і деталей вантажних вагонів пов'язано з необхідністю застосування різних способів зміцнення деталей, експлуатаційні властивості яких – зносостійкість,

динамічна і циклічна міцність – повинні перевищувати відповідні показники для нових деталей. Тому технологія зміцнення деталей вантажних вагонів повинна базуватися на застосуванні таких способів і засобів зміцнення і механічної обробки, які поряд з високою продуктивністю дозволяють не тільки зберегти, але і істотно підвищити довговічність елементів і деталей [4-11]. Таким чином, однією з проблем підвищення зносостійкості і довговічності елементів і деталей вантажних вагонів стає розроблення нових ефективних і екологічно чистих технологій зміцнення.

Одними з основних якісних показників, що визначають надійність вагонів, є технологічна та експлуатаційна спадковість їх складових елементів (деталей). Ці явища визначаються в готовій конструкції вагона і технологією виготовлення його складових елементів (деталей), а також умовами та режимами його експлуатації. Зокрема технологічна спадковість виражається в перенесенні геометричних і фізико-механічних властивостей елементів вагона (деталі, з'єднання, складальні одиниці) від попередніх технологічних операцій до подальших. У свою чергу явище експлуатаційної спадковості пов'язано не тільки з особливостями прийнятого технологічного процесу, а й вибором раціональної конструкції розглядуваного вузла вагона з умовами і режимами експлуатації. Дослідження технологічної та експлуатаційної спадковості дозволяє розкрити механізм формування комплексу діючих факторів, від яких певною мірою залежить працездатність вагона в цілому у визначених умовах експлуатації.

Для багатьох елементів вагона критерієм, що визначає ресурс окремих деталей, є їх знос, тобто поступова зміна розмірів і форми робочих поверхонь, а також властивостей їх матеріалів. При цьому збільшуються зазори в з'єднаннях рухомих деталей і порушується щільність

нерухомих посадок. Виниклі дефекти і пошкодження призводять до порушення режиму роботи вагона в цілому і до його передчасних відмов.

**Визначення мети та задачі дослідження.** У роботі необхідно провести опис відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів. При цьому слід надати оцінку технологічної надійності вагона, розглянути потоки відмов, яким властива відсутність наслідків і ординарності та описати критичні пошкодження окремих структурних елементів вагона без урахування випадків розвитку небезпечних подій під час руху поїздів.

**Основна частина дослідження.** Досліджуючи технологічну надійність структурних елементів вагона з точки зору неприпустимості технологічних дефектів під час виготовлення (відливання, прокат, волочіння, штампування тощо), слід зазначити, що зниження надійності відбувається внаслідок однотипних чи багатотипних утворень дефектів (нерухомих дислокацій, що призводять до тріщин, зниження твердості, міцності тощо), що носять характер порушення цілісності структурних елементів вагона. Тому технологічну надійність вагона умовно можна розбити на кілька підсистем, кількість яких буде досить невеликою. Кожна з цих підсистем виходить з ладу внаслідок відмов тільки однотипних елементів, тобто її можна розглядати як систему, що складається з однотипних елементів  $i$ -го типу (де  $i = 1, 2, \dots, k$ ). Розрахувавши надійність кожної з підсистем, за відомими правилами можна легко обчислити результуючу технологічну надійність вагона в цілому. На рівні технології виготовлення вагона будемо вважати, що в структурних елементах відсутні зносні відмови (оскільки не відбувається на цьому етапі взаємодія елементів), а всі відмови будуть мати характер випадкових подій. У цьому випадку з прийнятною для практичних

розрахунків точністю можна вважати, що потік відмов у процесі виготовлення є однорідним пуассонівським. Для таких потоків кількість відмов на будь-якому проміжку часу буде розподілена за законом Пуассона з параметром  $\lambda t$ , тобто ймовірність того, що на прогнозованому відрізку часу відбудеться  $m$  відмов структурних елементів вагона, буде розраховуватись відповідно до виразу [12, 13]

$$Q_m(t) = \frac{(N\lambda t)^m}{m!} \exp(-N\lambda t), \quad (1)$$

де  $N$  – кількість структурних елементів у розглядуваній системі вагона.

Ймовірність безвідмовної роботи розглядуваної системи вагона в цьому випадку буде підпорядковуватись експоненціальному закону розподілу:

$$P_0(t) = \exp(-N\lambda t). \quad (2)$$

Підставивши  $m$ ,  $N$ ,  $\lambda t$  у формулу (1), отримаємо ймовірність того, що за час  $t$  відбудеться 0, 1, 2, ...,  $m$  відмов структурних елементів відповідної системи вагона.

Для спрощення процесу визначення ймовірної кількості відмов структурних елементів вагона за визначений період доцільно побудувати сімейство кривих, що будуть вказувати на залежність  $m$  від параметра розподілу  $\lambda t$  і кількості структурних елементів  $N$  розглядуваної системи вагона. Для зручності користування такими кривими аргументом приймемо узагальнений параметр  $N\lambda t$ . Діапазон можливих значень зазначеного параметра виберемо в інтервалі 0...10, що відповідає існуючим технічним даним. Щоб визначити, при яких значеннях параметра досягаються максимальні ймовірності відмов структурних елементів

вагона  $m$ , тобто екстремуми функцій, треба обчислити першу похідну від виразу (2) за параметром і прирівняти її до нуля. У результаті отримаємо

$$\frac{dq_m(t)}{d(N\lambda t)} = \frac{(N\lambda t)^m}{m!} \exp(-N\lambda t) \left( \frac{m}{N\lambda t} - 1 \right). \quad (3)$$

Приймаючи, що

$$\frac{dq_m(t)}{d(N\lambda t)} = 0, \quad (4)$$

отримаємо

$$\frac{m}{N\lambda t} - 1 = 0, \quad (5)$$

або

$$N\lambda t = m. \quad (6)$$

Таким чином, виявлено просту закономірність відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення. Модою (найбільш імовірним значенням) кількості відмов  $m$  для узагальненого параметра  $N\lambda t$  є саме значення цього параметра.

На рисунку нижче наведемо залежності  $q_m(t) = f(N\lambda t)$ . Цікавим є те, що математичне очікування кількості відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів відповідає значенню узагальненого параметра  $N\lambda t$ .

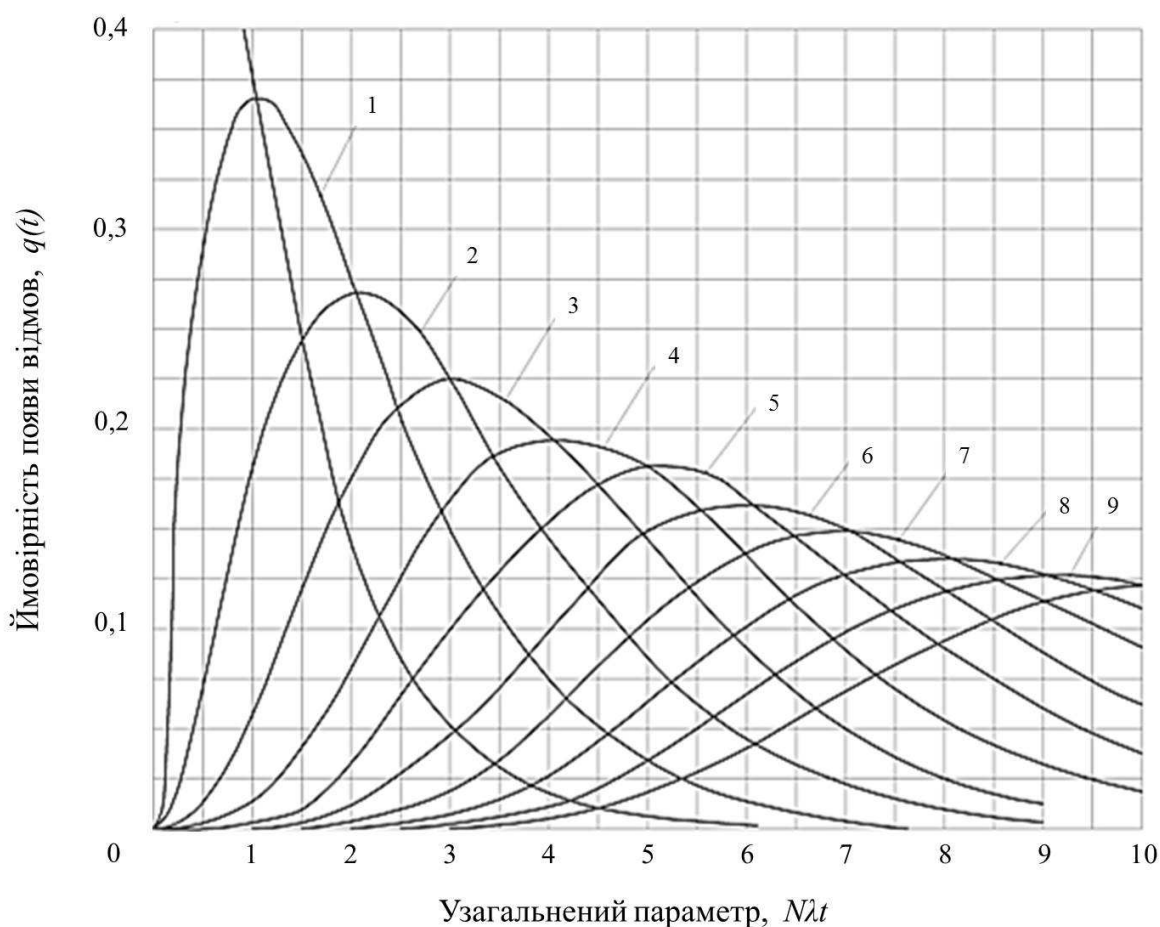


Рис. Залежність імовірності появи відмов вагона при технологічному процесі

виготовлення структурних елементів від величини узагальненого параметра

Очевидно, що математичне очікування кількості відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення буде дорівнювати

$$M(m) = \sum_{j=1}^{\infty} [mj q_{mi}(t)]. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} M(m) &= N\lambda t \exp(-N\lambda t) + \frac{(N\lambda t)^2}{1!} \exp(-N\lambda t) + \frac{(N\lambda t)^3}{2!} \exp(-N\lambda t) + \\ &+ \frac{(N\lambda t)^4}{3!} \exp(-N\lambda t) + \dots = \\ &= N\lambda t \exp(-N\lambda t) \left[ 1 + \frac{(N\lambda t)^2}{1!} + \frac{(N\lambda t)^3}{2!} + \frac{(N\lambda t)^4}{3!} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Послідовність у квадратних дужках являє собою ряд, що збігається та має суму, рівну  $\exp(N\lambda t)$ . Підставляючи останнє значення у формулу (7), отримаємо

$$M(m) = N\lambda t, \quad (9)$$

тобто математичне очікування кількості відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення також дорівнює значенню узагальненого параметра.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Оцінку технологічної надійності вагона необхідно проводити з

У практичних розрахунках без зниження точності обчислень можна обмежитися кінцевим числом  $j = r$ . Тоді, прийнявши, що  $r = N\lambda t = 10$ , отримаємо

точки зору неприпустимості утворення дефектів, а критичні пошкодження структурних елементів вагона будуть носити характер випадкових подій. При цьому потік таких відмов можна розглядати як пуассонівський, тобто такий, якому властива відсутність наслідків і ординарності. Остання властивість матиме місце, якщо розглядати критичні пошкодження окремих структурних елементів вагона без урахування випадків розвитку небезпечних подій під час руху поїздів. Тобто відмова, що призводить до одночасного виходу з ладу двох і більше структурних елементів вагона, буде вважатись однією відмовою.

### Список використаних джерел

1. Myamlin, S.V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Текст] / S.V. Myamlin, D.M. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 61-66.
2. 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.

3. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / Sergey Myamlin, Leonas Povilas Lingaitis, Stasys Dailydka, Gediminas Vaiciunas, Marijonas Bogdevicius, Gintautas Bureika // Transport. – 2015. – Vol. 30, Iss. 1. – P. 88–92.

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

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

6. Мурадян, Л. А. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес [Текст] / Л. А. Мурадян, В. Г. Анофриев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 206–210.

7. Мурадян, Л. А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності [Текст] / Л. А. Мурадян // Вісник НТУ «ХПІ» Сер. Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 127–130.

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. Костецкий, Б. И. Структурно-энергетические основы управления трением и износом в машинах [Текст] / Б. И. Костецкий. – К.: Знание, 1990. – 31 с.

10. Иванова, В. С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов [Текст] / В. С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 160 с.

11. Елизаветин, М. А. Технологические способы повышения долговечности машин [Текст] / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с.

12. Булинский, А. В. Теория случайных процессов [Текст] / А. В. Булинский, А. Н. Ширяев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 408 с.

13. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е. С. Вентцель. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.

---

Мурадян Леонтій Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (050) 340-28-01.

Muradian Leonti, Phd. techn., Associate Professor, Department "Cars and Carriage Facilities", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel.: (050) 340-28-01.

Стаття прийнята 19.09.2016 р.