

УДК 629.17

Л. А. МУРАДЯН

ВІДМОВИ ТА БЕЗВІДМОВНІСТЬ ВАГОНІВ ЯК СКЛАДОВІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

На основі проведеного аналізу відмов вагонів і, зокрема, показника надійності – безвідмовності, сформульовано гіпотезу про існування центру ваги, який є визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона. Такий центр ваги, у роботі найменовано коефіцієнтом експлуатаційної надійності вагона, який характеризує небезпеки подальшої експлуатації вагонів на залізниці. На основі таких коефіцієнтів можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю. Крім того, в роботі, розроблена і приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів, використовуючи яку, можна врахувати застосування нових конструкцій та новітніх матеріалів.

Ключові слова: коефіцієнт експлуатаційної надійності вагонів, відмови, ймовірність безвідмовної роботи, залізничний транспорт.

Вступ. Основним завданням залізничного транспорту є перевізний процес, обов'язковою умовою якого є безпека руху поїздів. На забезпечення підвищення рівня безпеки руху поїздів впливають надійність і безвідмовність рухомого складу, ліній електропередач та зв'язку, пристроїв блокування, стан і профіль колії [1].

На перших позиціях серед відмов залізничного транспорту знаходиться вантажний рухомий склад, а особливо піввагони [2]. Це пов'язано з тим, що кількість рухомого складу для вантажних перевезень є найбільшою, оскільки вантажні перевезення є основною дохідною діяльністю залізниць у всьому світі [3].

У теорії надійності співіснують два напрями, споріднені за ідеологією та загальною системою понять, але відрізняються за підходами [4, 5].

Перший напрямок – системна, статистична або математична теорія надійності, другий – можна назвати фізичною теорією надійності. Об'єктом системної (статистичної, математичної) теорії надійності служать системи з елементів, взаємодіючих між собою в сенсі збереження працездатності по логічним схемам: графам, деревам відмов тощо.

Вихідну інформацію в системній теорії надійності, як правило, утворюють показники надійності елементів, що визначаються шляхом статистичної обробки результатів випробувань і (або) експлуатаційних даних. Завдання системної теорії надійності вирішують в рамках теорії ймовірностей і математичної статистики, тобто без залучення фізичних моделей відмов і тих фізичних явищ, які викликають і супроводжують виникнення відмов.

Витоки фізичної теорії надійності можна знайти в ранніх роботах по статистичному тлумаченню коефіцієнтів запасу при розрахунку інженерних конструкцій. Відмінна риса фізичної теорії надійності полягає в тому, що підтримання працездатності системи і можливості виникнення відмов розглядають в ній як результат взаємодії між системою і зовнішніми впливами (експлуатаційними навантаженнями, умовами середовища тощо), а також механічними, фізичними і хімічними процесами, які відбуваються в компонентах системи в процесі її експлуатації. Поряд із засобами теорії ймовірностей і математичної статистики у фізичній теорії надійності широко використовують моделі і методи природничих і технічних наук.

Першорядне значення надійності пов'язано з тим, що її рівень в значній мірі визначає розвиток автоматизації виробничих процесів, інтенсифікації робочих процесів, економії матеріалів і енергії.

Актуальність надійності зростає у зв'язку зі складністю сучасних машин і важливістю функцій,

які вони виконують [6, 7]. Сучасні технічні засоби складаються з безлічі взаємодіючих механізмів, апаратів і приладів. Відмова хоча б одного елемента складної системи призводить до порушення роботи всієї системи.

Проведемо аналіз відмов та безвідмовності вагонів як складових надійності.

Аналіз попередніх досліджень. Однією з проблем сучасної теорії надійності, заснованої на класичних імовірнісних методах, є неможливість адекватного точного передбачення моменту виникнення відмови як випадкової події [8]. Оскільки, моменту відмови об'єкта (особливо тривалого використання), зазвичай, передують складні внутрішні зміни. Ці зміни, в вантажних вагонах, можуть по-різному проявлятися в залежності від місця та характеру відмови [9].

Існуючий понятійний апарат теорії надійності регламентований за допомогою досить великої кількості нормативно-технічних документів: ГОСТ [10], ДСТУ [11]. Відповідно до цих документів, надійність включає: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність. Розглянемо безвідмовність, яка, на думку авторів, є прямим і найбільш важливим показником надійності. У ДСТУ [11] вказано, що безвідмовність – це властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку.

Безвідмовність вагонів є особливо важливою, оскільки від неї залежать життя людей. Також, першорядне значення, безвідмовність вагонів відіграє на залізниці, оскільки відмова вагонів викликає перерву в роботі залізничної лінії, станції тощо.

З визначення безвідмовності випливає, що її обчислюють часом або напрацюванням до моменту виникнення відмови, встановлення причин відмов, винуватців їх виникнення та розробки заходів щодо зниження ймовірності їх виникнення. При цьому основою класифікації відмов є характер виникнення та особливості протікання процесів, що призводять до відмови (рис. 1).

Відмови ділять за: причиною виникнення, характером прояву, взаємозв'язку та зносу, трактуванням відмов і можливими наслідками. Крім того, відмови бувають ресурсні та деградаційні.

Відповідно [10, 11], відмова – це подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта. Також подано примітку про те, що несправність є станом та причиною відмови.

© Л. А. Мурадян. 2015



Рис. 1 – Класифікація відмов

Вивчення відмов на різних стадіях існування вагона з погляду теорії надійності можна подати у наступному вигляді (рис. 2).

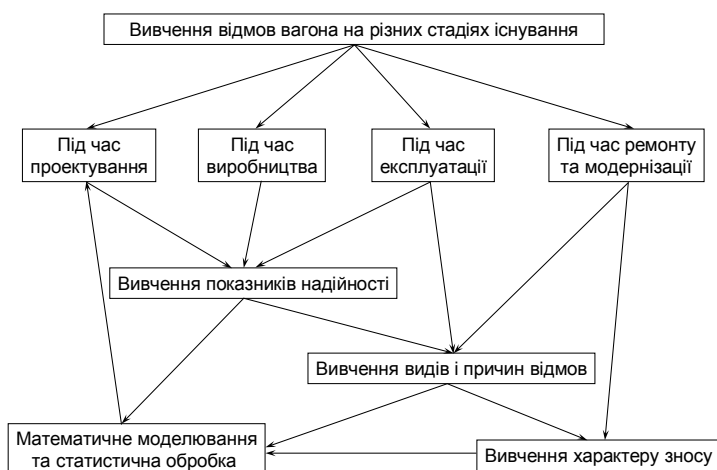


Рис. 2 – Вивчення відмов на різних етапах існування вагона з погляду теорії надійності

При збільшенні числа елементів, що входять до вагона (наприклад, пасажирського), при постійній надійності, кожного з них, знижується надійність всього вагона.

Слід відмітити, що безвідмовність характеризується [10, 11]: ймовірністю безвідмовної роботи, інтенсивністю відмов, параметром потоку відмов, середніми напрацюваннями до та на відмову, гамма-відсотковим напрацюванням на відмову.

Оскільки ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і відмова є взаємно протилежні події, то оцінку ймовірності відмови визначають за залежністю [4, 5]:

$$F(t) = 1 - P(t). \tag{1}$$

При цьому, для функції $F(t)$ справедливі такі відношення:

$$0 \leq F(t) \leq 1; F(0) = 0; F(\infty) = 1. \tag{2}$$

Метою роботи є дослідження відмов та безвід-

мовності вагонів як складових експлуатаційної надійності з розробкою методики визначення коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів для оцінки можливості їх подальшої експлуатації.

Результати досліджень відмов та безвідмовності вагонів.

Існує ряд випадків, коли є в наявності інформація про відмови вагонів, які мають різний характер. Розглянемо випадки відмов вагонів з механічним, корозійним та втомлюваним зносом. При цьому покладемо, що відомі розподіли функцій ймовірності відмов вагонів $F(t)$ за вказаними видами зносу. Так, для випадку відмов вагонів за механічним зносом, щільність розподілу підкоряється експоненціальному розподіленню [12]:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0, \tag{3}$$

де λ – інтенсивність відмов.

Для випадку відмов вагонів за корозійним зносом, щільність розподілу розподілена за нормальним законом [8]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right), \tag{4}$$

де a і σ^2 – математичне очікування і дисперсія досліджуємої випадкової величини.

У випадку дослідження відмов вагонів за втомлюваним зносом, щільність розподілу розподілена за законом Вейбулла-Гнеденка [12]:

$$f(t) = \lambda a t^{a-1} \cdot \exp(-\lambda t^a), \tag{5}$$

де λ, a – параметри закону розподілу.

Приведемо на рис. 3 графічні залежності ймовірності відмов та відповідно до виразу (1) ймовірності безвідмовної роботи вагонів $P(t)$ для відповідних видів зносу. При цьому, розподіл функцій покажемо на часовій абсцисі, оскільки для подальших міркувань повинні бути однакові величини вимірювання.

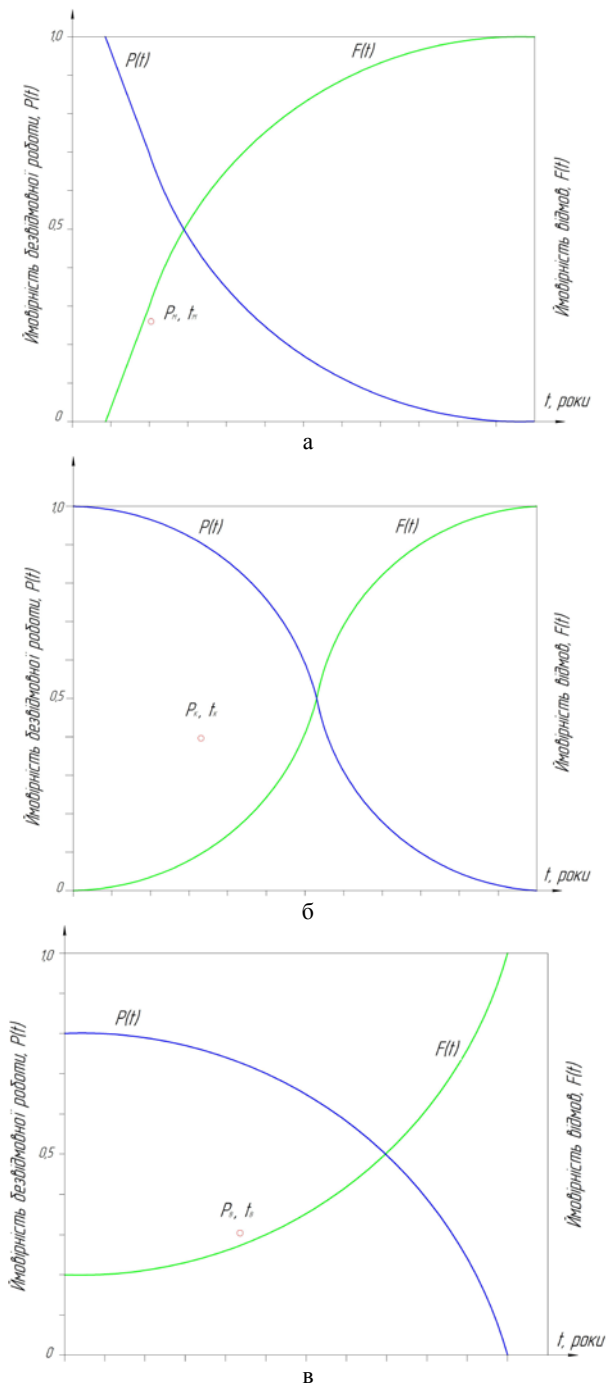


Рис. 3 – Залежності ймовірності відмов та ймовірності безвідмовної роботи вагонів: а – механічний знос; б – корозія; в – втомлюваний знос

Якщо придивитися до наведених залежностей, то центр ваги площі, що обмежена лінією ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ буде мати значення, за віссю ординат, – нижче за 0,5. Тобто, положимо, що центр ваги зазначеної площі буде визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона та можливості його подальшої експлуатації, а також вказуватиме на необхідність проведення інших заходів, наприклад, направлення вагону до підприємств з відновлення ресурсу за зазначеними видами.

Дамо назву точкам $P_m, t_m; P_k, t_k; P_v, t_v$ – вагові коефіцієнти експлуатаційної надійності (коефіцієнти небезпек для експлуатації), що вказують на небезпеку подальшої експлуатації вагонів на залізниці. Такими

коефіцієнтами можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю.

Далі, застосуємо метод центра ваги і знайдемо значення напрацювання для загального коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів $K_{ен}^t$ (тобто абсцису $t_{КЕН}$) за формулою:

$$K_{ен}^t = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{P_m \cdot t_m + P_k \cdot t_k + P_v \cdot t_v}{P_m + P_k + P_v}, \quad (6)$$

а значення $K_{ен}^P$, тобто ординату $P_{КЕН}$ за аналогічною формулою:

$$K_{ен}^P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{P_m \cdot t_m + P_k \cdot t_k + P_v \cdot t_v}{t_m + t_k + t_v}, \quad (7)$$

Значення зазначеного коефіцієнту ($P_{КЕН}, t_{КЕН}$) наведемо графічно у вигляді граничних вертикальної та горизонтальної ліній (рис. 4).

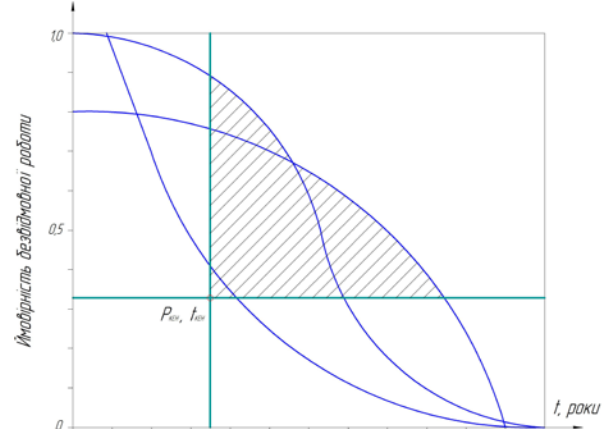


Рис. 4 – Значення коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів

Заштрихована площа на рис. 4, вказує початок того моменту, коли необхідно починати планувати заходи щодо підвищення надійності вагонів. Це є особливою зоною з можливих станів існування вагонів, в якій їх експлуатаційна надійність повинна знаходитись на ретельній увазі власників та робітників залізниці, особливо, вагонного господарства.

Перетин горизонтальної лінії з ординатою $P_{КЕН}$ з кривими ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ з відповідними видами зносу дає точки, які слід назвати кризовими, тобто при величині такого напрацювання вагона, експлуатаційна надійність виходить за критичну межу.

Також, слід зазначити, що приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузову). Тобто знаючи у скільки разів, наприклад, інтенсивність зносу гребенів колісних пар менше за існуючі аналоги, можна побудувати такий розподіл (рис. 3,

а), але з врахуванням зниження ймовірності відмов вагонів. Далі, використовуючи вирази (6) та (7), визначити значення нового коефіцієнту експлуатаційної надійності, який прийме більші значення, як за ординатою, так і за абсцисою в порівнянні за попередні.

Висновки. Проведений аналіз відмов вагонів і, зокрема, показника надійності – безвідмовності, дав можливість сформулювати гіпотезу про існування центру ваги, який є визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона. Такий центр ваги – найменовано коефіцієнтом експлуатаційної надійності вагона, який вказує на небезпеку подальшої експлуатації вагонів на залізниці. Такими коефіцієнтами можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю.

Також, в роботі, приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів, яка дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та новітніх матеріалів.

Список літератури: 1. *Губачева, Л. А.* Надійність транспортних засобів: навч. посіб. [Текст] / Л. А. Губачева. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2009. – 93 с. 2. *Myamlin, S. V.* The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Текст] / S. V. Myamlin, D. M. Varanovskiy // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна "Проблеми економіки транспорту". – 2014. No 7. – С. 61–66. 3. *Гапанович, В. А.* Парк грузовых вагонов: перспективы развития [Текст] / В. А. Гапанович // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2004. – Пилотный вып. – С. 2–5. 4. *Устич, П. А.* Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П. А. Устич, В. А. Картычев, М. Н. Овечников. – М., 1999. – 412 с. 5. *Сирин, Н. Ф.* Надежность технических систем. Вагоны [Текст] / Н. Ф. Сирин. – Екатеринбург, 2003. – 44 с. 6. *Мямлин, С. В.* Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління [Текст] / С. В. Мямлин // Вагонний парк. – 2014. – No10. – С. 4–9. 7. *Мурадян, Л. А.* Определение количества объектов для проведения эксплуатационных испытаний вагонной техники

[Текст] / Л. А. Мурадян // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2013. – Вип. 139. – С. 83–86. 8. Надійність техніки. Аналіз надійності [Текст]: Основні положення. ДСТУ 2861-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с. 9. *Мурадян, Л. А.* Исследование эксплуатационных свойств накладок для дисковых тормозов пассажирских вагонов производства ПАО "Трибо" [Текст] / Л. А. Мурадян, А. М. Бабаев, А. В. Сорокалет // Залізничний транспорт України. – No 3/4. – 2013. – С. 66–68. 10. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]: Утв.: Постановление Госстандарта СССР 15.11.89 N 3375. ГОСТ 27.002-89. – М.: Транспорт, 1990. – 32 с. 11. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]: ДСТУ 2860-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с. 12. *Бочаров, П. П.* Теория вероятностей. Математическая статистика [Текст] / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 296 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Gubacheva, L. A.* (2009). Nadijnist transportnih zasobiv : navch. posib. Lugansk: SNU im. V. Dalja, 93. 2. *Myamlin, S. V., Varanovskiy, D. M.* (2014). The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. Zbimik naukovix prac Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu im. ak. V. Lazaryana "Problemi ekonomiki transportu", No 7, 61–66. 3. *Гапанович, В. А.* (2004). Park грузовых вагонов: perspektivy razvitiya. Vagony i vagon. xoz-vo, 2–5. 4. *Устич, П. А. Карпычев, В. А., Овечников, М. Н.* (1999). Nadezhnost relsovogo netyagovogo podvizhnogo sostava. Moscow, 412. 5. *Сирин, Н. Ф.* (2003). Nadezhnost texnicheskix sistem. Vagony. Ekaterinburg, 44. 6. *Мямлин, С. В.* (2014). Rozrobka konstrukcij ta mashinobudivnix tehnologij stvorenniya vantazhnikh vagoniv novogo pokolinnya. Vagonnij park, No10, 4–9. 7. *Мурадян, Л. А.* (2013). Opredelenie kolichestva obektov dlya provedeniya ekspluatacionnyx ispytaniy vagonnoj texniki. Zbimik naukovix prac Ukraïnskoï derzhavnoï akademii zaliznichnogo transportu, Vip. 139, 83–86. 8. *DSTU 2861-94.* (1995). Nadijnist texniki. Analiz nadijnosti. Osnovni polozhennya. Kiev: Derzhstandart Ukraïni, 92. 9. *Мурадян, Л. А., Бабаев, А. М., Сорокалет, А. В.* (2013). Issledovanie ekspluatacionnyx svojstv nakladok dlya diskovyx tormozov passazhirskix vagonov proizvodstva PAO "Tribo". Zaliznichnij transport Ukraïni, No 3/4, 66–68. 10. *GOST 27.002-89.* (1990). Nadezhnost v texnike. Osnovnye ponyatiya. Termini i opredeleniya: Utv.: Postanovlenie Gosstandarta SSSR 15.11.89 N 3375. Moscow: Transport, 32. 11. *DSTU 2860-94.* (1995). Nadijnist texniki. Termini ta viznachennya. Kiev: Derzhstandart Ukraïni, 92. 12. *Bocharov, P. P., Pechinkin, A. V.* (2005). Teoriya veroyatnostej. Matematicheskaya statistika. Moscow: FIZMATLIT, 296.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мурадян Леонтий Абрамович – кандидат технічних наук, Кафедра "Вагоны та вагонне господарство", Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Мурадян Леонтий Абрамович – кандидат технічних наук, Кафедра "Вагоны та вагонне господарство", Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Muradyan Leonti Abramovich – PhD, Department "cars and carriage facilities," Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan st. Lazaryan, 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010.