

А. В. Труфанова*Український державний університет залізничного транспорту, Україна***ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ**

У статті розглянуті основні положення методики визначення показників надійності кузовів пасажирських вагонів. Визначені основні елементи пасажирського вагону, які впливають на надійність та безпеку руху. Запропоновано для опису напруження до відмови використовувати розподілення Релея. Отримана аналітична залежність імовірності безвідмовної роботи кузова пасажирського вагону з урахуванням корозійних пошкоджень.

Ключові слова: пасажирський вагон, кузов, надійність, спрацювання, розподілення, відмова.

Постановка проблеми та її актуальність

Незважаючи на зменшення з відомих причин пасажиропотоків, переважна більшість пасажирських перевезень здійснюється залізничним транспортом. Тому особлива роль належить пасажирським вагонам, оскільки саме вони повинні забезпечити не лише перевезення пасажирів на великі відстані, але й забезпечити при цьому безпеку руху та комфортні умови. На жаль, сучасний стан транспортної галузі не повною мірою відповідає вимогам ефективної реалізації євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі у Транс'європейську. Парк пасажирських вагонів власності філії "Пасажирська компанія" значною мірою відпрацював нормативний термін служби і вичерпав свій ресурс. За останні роки інвентарний парк пасажирських вагонів суттєво зменшився через виключення з експлуатації вагонів, що вже вичерпали свій ресурс. Так, лише 8-10 % вагонів мають вік до 20 років, а середній вік пасажирського вагона складає понад тридцять років. Тобто вагони застарілі як морально, так і фізично.

Тому особливої актуальності набувають питання підтримки надійності технічного стану наявного вагонного парку через проведення відновлювальних ремонтів, в тому числі з модернізацією і продовженням терміну служби, та створення інноваційних вагонів нового покоління.

Але традиційні підходи до проектування вагонів, які базуються на оцінці запасу міцності, не дозволяють оцінити ймовірність відмови елементів вагона. Поширене уявлення про те, що збільшення коефіцієнта запасу міцності понад певний рівень гарантує повне виключення відмов, не має достатнього наукового обґрунтування. Як відмови, такі характеристики конструкції вагона вже на стадії виготовлення часто мають випадковий характер, що

залишається поза увагою традиційних методів проектування. Унаслідок цього детерміністський підхід до проектування в першу чергу кузовів виявляється недостатньо ефективним з точки зору забезпечення надійності вагона. Тому необхідна альтернативна методика, яка враховувала імовірнісну природу як характеристик міцності, так і конструктивних параметрів пасажирського вагона.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Переважає більшість наукових досліджень в Україні присвячена аналізу можливостей подовжити термін експлуатації вагонів, що вичерпали свій ресурс. Так, у статтях [1, 2] наведено огляд технічного стану парку пасажирських вагонів власності філії АТ "Пасажирська компанія". Автори підкреслюють, що необхідно негайне оновлення вагонного парку, закупівля нових інноваційних вагонів, які повинні відповідати всім вимогам нормативних документів Європейського Союзу. Це підтверджують результати статистичного аналізу величин зносів та пошкоджень металоконструкцій рами та кузова пасажирських вагонів різних років побудови [3, 4].

Для прогнозування залишкової здатності кузовів пасажирських вагонів у статті [5] запропонована методика прогнозування та управління відновленням їх ресурсу. Її основою є модель швидкісних корозійних пошкоджень для різних ділянок кузова, що дозволяє виконувати імітацію технічного стану вагона в будь-який момент часу.

У статті [6] автори зосереджують увагу на актуальних питаннях розробки та вдосконалення пасажирських вагонів. Основною метою дослідження є розробка методики уточнених теоретичних досліджень міцності кузовів двоповерхових вагонів, вибір раціональних

конструктивних схем і параметрів, а також аналіз частот і форм власних коливань із урахуванням кінцевої жорсткості елементів конструкції. Запропонована методика виявилася ефективною для теоретичного визначення динамічних характеристик конструкції кузова вагона, що є важливою складовою при розрахунку надійності та довговічності спеціалізованого пасажирського рухомого складу.

У статті [7] на підставі розробленої скінчено-елементної моделі визначено, що перша вертикальна частота вигину кузова пасажирського вагона в експлуатаційному стані збільшується на 9,2%, тоді як маса кузова збільшується на 2,35% зі збільшенням жорсткості кузова

У статті [8] розглядається мультидисциплінарний підхід до оцінки довговічності кузова пасажирського вагона під дією випадкових динамічних навантажень. Основну увагу приділено використанню гібридного методу аналізу втом, який поєднує моделювання системи за допомогою методу скінчених елементів. Визначено ресурс та рівень втомного пошкодження кузова. Результати моделювання підтверджено експериментально, а основним чинником ушкодження встановлено поздовжнє навантаження.

Авторами дослідження [9] запропоновано методику проведення випробувань на втомну міцність рами кузова пасажирського вагона. Випробування виконуються в лабораторних умовах з точним моделюванням навантажень, що відповідають реальним умовам експлуатації. Визначалися навантаження взаємодії рами та кузова вагона. Автори детально розглянули процес моделювання на стенді вібрацій кузова при русі. В подальшому така методика стане основою для випробувань кузова вагона в цілому, так і його окремих елементів.

У статті [10] представлено методологічний підхід оцінки надійності конструкцій пасажирських вагонів за допомогою методу скінчених елементів. Автори аналізують вплив різних навантажень на довговічність кузова та пропонують підходи до оптимізації конструкцій для підвищення їхньої надійності.

В роботі [11] розглядалися питання довговічності кузова пасажирського вагона під дією динамічних навантажень. Дослідження базується на комплексному використанні моделювання динаміки багатьох тіл (MBS) і методу скінчених елементів (FEA), що дозволяє точно змоделювати реальні динамічні властивості конструкції кузова.

У статті [12] викладено результати аналізу технічного стану пасажирських вагонів, що вичерпали свій ресурс та міцності металоконструкцій пасажирських вагонів з урахуванням їх спрацювання. Доведено, що

найчастіше до корозійних пошкоджень схильні нижні частини бокової та торцевої стіни.

Авторами статті [13] запропоновано новий підхід динамічної оптимізації для підтримки конструкції кузовів пасажирських вагонів, що піддаються статичним навантаженням.

У дослідженні [14] викладено методику прогнозування рівня безпеки пасажирських вагонів використанням відомих програмних продуктів.

У роботах [15, 16] виконана оцінка аварійності В результаті аналітичного моделювання зіткнення пасажирського вагону з жорсткою стінкою та надані пропозиції щодо модернізації залізничного пасажирського вагону. були запропоновані рекомендації.

Але практично у всіх дослідженнях розглядаються лише питання забезпечення міцності конструктивних елементів пасажирських вагонів (як знов збудованих, так и таких, що вичерпали свій ресурс під час багатолітньої експлуатації). Поза увагою дослідників залишились питання формування методів та моделей для визначення надійності пасажирських вагонів, особливо для елементів, які активно спрацьовуються в експлуатації.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є розробка методологічного підходу до визначення показників надійності кузовів пасажирських вагонів власності філії "Пасажирська компанія" АТ Укрзалізниця на підставі інформації про технічний стан несучих елементів кузова і рами. Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

- розглянути пасажирський вагон як складну систему та визначити її основні елементи, які впливають на надійність та безпеку руху;
- обґрунтувати можливість використання розподілення Релея для опису напрацювання до відмови кузовів пасажирських вагонів, що вже відпрацювали свій ресурс;
- визначити залежності зміни імовірності безвідмовної роботи для кузовів пасажирських вагонів, що вже відпрацювали свій ресурс.

Виклад основного матеріалу

Пасажирський вагон – це одиниця рухомого складу та виріб багаторазового циклічного застосування, яке включає в себе велике кількість складових частин, що характеризуються різним функціональним призначенням та різними видами відмов.

Пасажирський вагон являє собою енергоємний виріб з широкою номенклатурою механічного, електронного та електротехнічного обладнання, яке необхідне для забезпечення необхідного рівня

безпеки та комфорту перевезення пасажирів. У зв'язку з цим основним критерієм при експлуатації рухомого складу є надійність вагона у зборі та його окремих складальних одиниць, які мають зберігати свої експлуатаційні показники у заданих межах протягом усього часу експлуатації.

Конструкція сучасних пасажирських вагонів складається з великої кількості окремих вузлів та деталей. Кожен із цих агрегатів повинен безвідмовно функціонувати протягом заданого терміну служби деталі.

Залишковий термін служби пасажирського вагона загалом залежить від терміну служби елементів та частин, що входять до складу цього вагона. Пасажирський вагон складається з наступних конструктивних вузлів та агрегатів:

- елементи, відмови яких не впливають на працездатність вагона в цілому;
- елементи, працездатність яких практично не змінюються за проміжок часу, що розглядається;
- елементи, відмови яких можуть призвести до відмови вагона за розглянутий проміжок часу;
- елементи, ремонт та технічне обслуговування яких можливий, не перериваючи процес використання вагона за призначенням;
- елементи з обмеженою контролепридатністю, відмови яких можуть призвести до виникнення транспортних інцидентів або аварії рухомого складу.

Саме остання група елементів має найбільший вплив на забезпечення безпеки руху вагонів. Низька або обмежена контролепридатність не дає можливості повною мірою використовувати методи неруйнівного контролю для таких деталей. Також ускладнює роботу оглядачів вагонів (особливо за несприятливих погодних умов).

У пасажирських вагонах до зазначеної групи вузлів входять наступні вузли та агрегати:

- кузов і рама вагона;
- гальмове обладнання;
- ходові частини;
- автозчепне обладнання;
- системи життєзабезпечення (електрообладнання, вентиляція та кондиціювання, водопостачання та опалення тощо).

Всі інші елементи або не призводять до відмови вагона, або мають відносно низькі витрати на ремонт чи заміну обладнання.

Тоді схему взаємодії елементів конструкції пасажирського вагона можна представити наступним чином (рис. 1).



Рис. 1 Схема взаємодії елементів пасажирського вагона

Елементи пасажирського вагона, які безпосередньо впливають на безпеку руху, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1
Перелік елементів, що безпосередньо впливають на безпеку руху

А-Кузов	
A1	Бокова стіна
A2	Торцева стіна
A3	Дах
A4	Підлога з рамою
В-Автогальма	
B1	Повітророзподільник
B2	Гальмовий циліндр
B3	Запасний резервуар
B4	Повітропровід
B5	З'єднувальні рукава
B6	Важільна передача
С-Ходові частини	
C1	Рама візка
C2	Надресорна балка
C3	Колісні пари разом з буксами
C4	Ресорне підвішування
D - Автозчепне обладнання	
D1	Корпус автозчепу
D2	Механізм автозчепу
D3	Поглинаючий апарат
D4	Тяговий хомут
D5	Розчіпний привід
Е - Системи життєзабезпечення	
E1	Генератор
E2	Акумуляторна батарея
E3	Прилади регулювання
E4	Котел
E5	Повітроохолоджувач
E6	Циркуляційний насос

У подальшому розглядаємо лише відмови кузова. Відмови інших складових елементів залишаться поза увагою цієї статті.

На рис. 2 згідно з наведеними раніше даними представлена блок-схема надійності системи А



Рис. 2 – Блок–схема надійності системи А

Під час експлуатації кузов пасажирського вагона протягом тривалого часу знаходиться у різних кліматичних зонах та складних умовах впливу навколишнього середовища: перепади температури та вологості зовнішнього повітря, атмосферні опади, вітрове навантаження. Це призводить до підвищеної корозії та зносу обшивки та каркасу кузова.

Механічні ушкодження зовнішніх поверхонь стін, підлоги та даху в процесі експлуатації відбуваються порівняно рідко і головним чином через випадкові удари при маневрових роботах, через подряпини та руйнування антикорозійного покриття. Ці пошкодження зовнішньої поверхні кузова легко доступні для своєчасного виявлення та відновлення захисного покриття, тому їх вплив на довговічність кузова незначний.

Обстеження стану внутрішніх поверхонь кузовів показало [4], що значна частина вагонів вимагає відновлення кузова по корозійному зносу листів підлоги під туалетами. Також це стосується нижніх листів обшивки бічних стінок, особливо в нижній частині підвіконних поясів, де утворюються наскрізні корозійні ушкодження.

У середній частині кузова особливо активно процес корозії протікає в зоні розташування нижньої об'язки і проти віконних отворів. Це пояснюється попаданням вологи зовні через нещільність примикання рами вікна до обшивки кузова. У бічних стінах на міжвіконних і надвіконних панелях і даху шар захисного покриття в основному зберігається.

Крім того корозія розвивається у щілинах в зонах розташування стояків і стрингерів, а також по зварних швах та зонах навколо них.

Очевидно, що саме корозійна стійкість є головним фактором, що визначає технічний стан та довговічність кузова суцільнометалевого пасажирського вагона.

Якщо ми розглядаємо кузов вагону, яка складається з 4 елементів (рис. 2), після втрати працездатності одного елемента відмовляє вся система. Тобто елементи кузова в сенсі надійності з'єднані послідовно. Тоді імовірність безвідмовної роботи (ІБР) $P_{\text{систА}}(t)$ такої системи можна обчислити:

$$P_{\text{систА}}(t) = P_{A1}(t) \times P_{A2}(t) \times P_{A3}(t) \times P_{A4}(t), (1)$$

де $P_{A1}(t)$ – ІБР бокової стіни;

$P_{A2}(t)$ – ІБР торцевої стіни;

$P_{A3}(t)$ – ІБР даху;

$P_{A4}(t)$ – ІБР підлоги.

Будемо вважати, що відмови елементів кузова розподілені згідно закону Релея. Його перевагою є можливість врахування припрацювання і зносу деталей кузова після тривалої часу експлуатації.

Тому для знаходження ІБР використовується формула

$$P(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}, (2)$$

де σ – параметр розподілення.

Він визначається за наступною формулою

$$\sigma = T_{\text{ср}}^i \times \sqrt{\frac{2}{\pi}}, (3)$$

де $T_{\text{ср}}^i$ – найменше значення ресурсу елемента кузова, отримане з умови утворення та розвитку корозії.

Вихідні дані для вагону відкритого типу подані у таблиці 2

Таблиця 2
Вихідні дані параметри для вагону відкритого типу

Елемент	A1	A2	A3	A4
Термін експлуатації, роки	45	45	45	45
Номінальна товщина, мм	2,5	1,5	1,5	1,5
Фактична товщина, мм	2,35	1,49	1,46	1,31
Швидкість повзучості мм/рік	0,027	0,004	0,002	0,042
Параметр σ	40	38	52	40

Тоді

$$P_{A1}(t) = e^{-\frac{t^2}{2 \cdot 40^2}}, (4)$$

$$P_{A2}(t) = e^{-\frac{t^2}{2 \cdot 38^2}}, (5)$$

$$P_{A3}(t) = e^{-\frac{t^2}{2 \cdot 52^2}}, (6)$$

$$P_{A4}(t) = e^{-\frac{t^2}{2 \cdot 40^2}}, (7)$$

Тоді

$$P_{\text{систА}}(t) = e^{-\frac{t^2}{2} \left(\frac{1}{40^2} + \frac{1}{38^2} + \frac{1}{52^2} + \frac{1}{40^2} \right)}.$$

Отримане рівняння для оцінки імовірності безвідмовної роботи кузова жорсткого купейного пасажирського вагона дає можливість у подальшому визначати залишкового ресурс та планувати терміни проведення ремонтів та технічного обслуговування.

Висновки

- Запропонований удосконалений підхід щодо оцінки надійності пасажирських вагонів в умовах експлуатації з урахуванням високого ступеня зношеності рухомого складу. Він базується на ймовірнісних моделях відмов.
- З метою підвищення достовірності оцінки надійності кузова пасажирського вагона запропоновано використання розподілення Релея. Доведено, що саме це розподілення найбільш вдало підходить для моделювання ймовірності безвідмовної роботи конструктивних елементів, що зазнають корозійного зносу в процесі експлуатації.
- Розроблено математичну модель для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи кузова вагона, представленого як послідовна система з чотирьох основних елементів. Застосування цієї моделі дозволяє враховувати реальні експлуатаційні умови, ступінь спрацювання матеріалів та швидкість корозійних процесів.
- Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення методів прогнозування залишкового ресурсу та планування термінів проведення ремонтів та технічного обслуговування.

Література

1. Божок Н. О. Дослідження сучасного стану парку пасажирських вагонів / Н. О. Божок, Ю. В. Булгакова, А. Л. Пуларія // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна "Проблеми економіки транспорту". - 2014. - Вип. 8. - С. 78-87.
2. Лобойко Л. М. Стан вагонного парку та вагоноремонтної бази в Україні / Л. М. Лобойко, Ю. С. Бараши // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна "Проблеми економіки транспорту". - 2007. - Вип. 19. - С. 176-182.
3. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Петухов В. М., Сергієнко М. О. Дослідження залежностей спрацювання несучих елементів пасажирських вагонів. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія "Транспортні системи і технології". 2020. Київ: ДУІТ, вип. 36. С. 72-81. [doi:10.32703/2617-9040-2020-36-872](https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-872).
4. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Павленко Ю. С., Сергієнко М. О. Аналіз технічного стану кузовів пасажирських вагонів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Транспортне машинобудування. Х. НТУ «ХПІ», 2018, № 45 (1321), С. 41-46. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.06>.
5. Leontii Muradian, Anzhelika Shvets, et al. Study on the frequencies of natural oscillations of car transporter wagon, Noise & Vibration Worldwide 2024;56(1):1-20. <https://doi.org/10.1177/09574565241306314>.
6. Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body Wenjing Sun, Jinsong Zhou, Dao Gong and Taiwan You. Advances in Mechanical Engineering 2016, Vol. 8(4) 1–12. [doi: 10.1177/1687814016643640](https://doi.org/10.1177/1687814016643640).
7. Sunil Kumar Sharma, Rakesh Chandmal, et al. In situ and experimental analysis of longitudinal load on carbody fatigue life using nonlinear damage accumulation, International Journal of Damage Mechanics 2022;31(4): 605-622. <https://doi.org/10.1177/10567895211046043>.
8. Sudipa Chatterjee, Sudeshna Mitra, Bhargab Maitra. Study of the fatigue testing of a car body underframe for a high-speed train. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit 2015; 230(6):1614-1625. <https://doi.org/10.1177/0954409715618425>.
9. Juan Jos'e Jim'enez de Cisneros Fonfria, Ester Olmeda, et al. Failure analysis of a train coach underframe, Engineering: Journal Failure Analysis 2024;156. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107756>.
10. Bingrong Miao, Southwest Jiaotong University et al. Dingchang Jin Evaluation of Railway Vehicle Car Body Fatigue Life and Durability using a Multi-disciplinary Analysis Method: International Journal of Vehicle Structures and Systems; 2009;1(4). <https://doi.org/10.4273/ijvss.1.4.20>.
11. Martynov I. E., Kalabukhin Yu. E. et al. Analysis of stress state of passenger car bodies, Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies series "Transport Systems and Technologies", 43, 2024. 110-120. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-9>.
12. Cascino, A., Meli, E., & Rindi, A. Dynamic size optimization approach to support railway carbody lightweight design process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit; 2023; 237(7): 871-881. <https://doi.org/10.1177/09544097221140933>.
13. Kobishanov V.V., Lozbinev V.P., Sakalo V.I., Antipin D.Y., Shorohov S.G., Vysocky A.M., Passenger Car Safety Prediction. World Applied Sciences Journal, 2013, № 24, С. 208–212. [https://www.idosi.org/wasj/wasj24\(1\)2013](https://www.idosi.org/wasj/wasj24(1)2013).
14. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog S. E., Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012), Karabük University. – Istanbul, 2012, P. 579–586.
15. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E., Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. Intern. J. of Crashworthiness. London, 2011, Vol. 16. Iss. 3.P. 319–329. [doi: 10.1080/13588265.2011.566475](https://doi.org/10.1080/13588265.2011.566475).

References

1. Bozhok, N. O., Bulgakova YU. V., & Pulariya A. L. (2014). Doslidzhennya suchasnoho stanu parku pasazhyr's'kykh vahoniv. Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Problemy ekonomiky transportu", 8, 78-87.
2. Loboyko L. M., & Barash YU. S. (2007). Stan vahonnoho parku ta vahonoremontnoyi bazy v Ukraini. Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrov's'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Problemy ekonomiky transportu", 19, 176-182.
3. Martynov I. E., Trufanova A. V., Petukhov V. M. & Serhiyenko M. O. (2020). Doslidzhennya zalezhnostey spratsyuvannya nesuchykh elementiv pasazhyr's'kykh vahoniv. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohiy Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriya "Transportni systemy i tekhnolohiyi", 36, 72-81.
4. Martynov I. E., Trufanova A. V., Pavlenko YU. S., & Serhiyenko M. O. (2018). Analiz tekhnichnoho stanu kuzoviv pasazhyr's'kykh vahoniv. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho

universytetu "KHPI". Seriya: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh. *Transportne mashynobuduvannya*, 45 (1321), 41-46.

6. Wenjing Sun, Jinsong Zhou, Dao Gong & Taiwen You. (2016). Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(4), 1–12.
7. Sunil Kumar Sharma & Rakesh Chandma. (2022). In situ and experimental analysis of longitudinal load on carbody fatigue life using nonlinear damage accumulation. *International Journal of Damage Mechanics*; 31(4). 605-622.
8. Sudipa Chatterjee, Sudeshna Mitra & Bhargab Maitra. (2015). Study of the fatigue testing of a car body underframe for a high-speed train. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit*; 230(6). 1614-1625.
9. Juan Jos'e Jim'enez, Cisneros Fonfría, Ester Olmeda, Susana Sanz, María Garrosa & Vicente D'ía (2024). Failure analysis of a train coach underframe. *Engineering: Journal Failure Analysis*, 156.
10. Bingrong Miao & Dingchang Jin. (2009). Evaluation of Railway Vehicle Car Body Fatigue Life and Durability using a Multi-disciplinary Analysis Method. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*; 1(4).
11. Martynov I. E., Kalabukhin Yu. E. Trufanova A. V. & Martynov S. I. (2024). Analysis of stress state of passenger car bodies. *Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohiy Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: series "Transport Systems and Technologies"*, 43. 110-120.
12. Cascino, A., Meli, E. & Rindi, A. (2023). Dynamic size optimization approach to support railway carbody lightweight design process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 237(7): 871-881.
13. Kobishanov V.V., Lozbinev V.P., Sakalo V.I., Antipin D.Y., Shorohov S.G. & Vysotsky A.M. (2013). Passenger Car Safety Prediction. *World Applied Sciences Journal*, 24. 208–212.
14. Baykasoglu C., Sunbuloglu E. & Bozdog S. E. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012)*, Karabük University. Istanbul, 579–586.
15. Baykasoglu C., Sunbuloglu E. & Bozdog E. (2011). Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. J. of Crashworthiness*, 16. 319–329.

Рецензент: доктор технічних наук, професор кафедри "Інженерія вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту І. Е. Мартинов

Автор: ТРУФАНОВА Альона Володимирівна
кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail: alena.hiit.vagons@gmail.com
ID ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

STUDY OF THE RELIABILITY OF PASSENGER CARS

A. Trufanova

Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

Most of the passenger cars inventory owned by the "Passenger Company" branch has already exhausted its service life. Therefore, the issue of maintaining the reliability of the fleet through restorative repairs has become particularly relevant.

The article considers the main provisions of the methodology for determining the reliability indicators of passenger car bodies. The remaining service life of a passenger car depends on the service life of its components and parts. A passenger car is considered a complex system consisting of several subsystems. Components with limited testability, the failure of which may lead to the failure of the entire car, transportation incidents, or accidents involving rolling stock, have been identified. In passenger cars, such critical components include: the car body and frame, braking equipment, running gear, and automatic coupling system. All other elements either do not lead to car failure or incur relatively low costs for repair or replacement.

The body is considered as the determining element. The corrosion resistance of the car body frame and metal lining of floors, walls and roofs is the main factor determining the technical condition and durability of an all-metal passenger car body.

To increase the accuracy of assessing the reliability of the car body, the use of the Rayleigh distribution is proposed. It is proven that this distribution is the most suitable for modeling the probability of failure-free operation of structural elements subject to corrosion wear during operation. An analytical relationship has been derived for the probability of failure-free operation of a passenger car body considering corrosion damage.

The article presents an equation for estimating the probability of failure-free operation of a rigid compartment-type passenger car. This makes it possible to subsequently determine the remaining service life and to plan maintenance and repair schedules.

The proposed scientific approach takes into account the actual service life and wear level of a passenger car, as well as its type and structural features.

Key words: passenger car, body, reliability, wear, distribution, failure.