

## ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

---

УДК 629.4.023.14

### АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПРАЦЮВАННЯ КУЗОВІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Д-р техн. наук І. Е. Мартинов, канд. техн. наук А. В. Труфанова, асп. М. О. Сергієнко

### ANALYSIS OF PECULIARITIES OF PASSENGER CAR BODY WEAR

D. Sc. (Tech.) I. Martynov, PhD (Tech.) A. Trufanova, postgraduate student M. Sergienko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.242250>

**Анотація.** У статті розглянуто питання аналізу особливостей зносу кузовів пасажирських вагонів. Вибірку пасажирських вагонів складають моделі, розроблені та виготовлені ще у 70–80-х роках минулого століття, основу якого складають вагони, успадковані Україною ще від колишнього СРСР. Проведено порівняльний аналіз величини та характеру спрацювання конструктивних елементів вагонів різних типів та років їх побудови. Результати дослідження дали змогу розглянути питання подальшого використання пасажирських вагонів, які найбільш уражені корозією.

**Ключові слова:** пасажирський вагон, спрацювання, рухомий склад, корозія, інвентарний парк, технічний стан.

**Abstract.** The article considers the issues of analysis of the patterns of operation of the load-bearing elements of the body of carriage. A comparative analysis of the size and nature of the operation of structural elements of carriages of different types and years of their construction.

In recent years, there has been a significant aging of the operational fleet of carriage. At nowadays, carriages of various models and their modifications with an extended service life, which is approaching the limit, are in operation on the railway network of Ukraine.

The technical, economic and ecological indicators of transport, the degree of reliability and traffic safety depend on the age of the carriages. At nowadays, the level of development of technical means and technology of repair and restoration of rolling stock is increasing fast.

To increase the competitiveness of rail passenger transport, it is necessary to overcome the high degree of wear of the carriages fleet of JSC «Ukrzaliznytsia». Because of the lack of domestic and the complete absence of foreign investment in the railways, the tendency to increase physical depreciation and obsolescence of fixed assets is progressing. According to the data of the branch of «Passenger Company» JSC «Ukrzaliznytsia» in 2020 the inventory includes is almost 5 thousand carriages, most of which have served their intended service life. As a result, the current wear of the carriages fleet is approaching 92 %.

Most of the carriages fleet was built in the 70s and 90s of the last century at car plants in Germany and Russia. Due to the constant lack of funding, the fleet of carriages of JSC «Ukrzaliznytsia» was renewed at a slow pace. Every year the carriages fleet wears out and ages. This reduces the competitiveness of railways, which negatively effects on quantity of passenger traffic. Naturally, carriages should not only create the necessary level of comfort, but also ensure traffic safety and high reliability in operation. The results of the study made it possible to consider the issue of further use of carriages, which are most affected by corrosion.

**Keywords:** body of a passenger wagon, rollingstock, corrosion, passenger wagon, inventory park, technical condition.

**Вступ.** За останні роки через недостатню кількість внутрішніх та повну відсутність зовнішніх інвестицій на залізницях України спостерігається тенденція до збільшення як фізичного зносу, так і морального старіння основних фондів. Стосовно пасажирського господарства це означає значне старіння експлуатаційного парку пасажирських вагонів АТ «Укрзалізниця».

Переважна частина парку пасажирських вагонів була збудована у 70–90 роках минулого століття на вагонобудівних заводах Німеччини (Waggonbau Ammendorf) та Російської Федерації (Калінінський вагонобудівний завод, нині Твер). Згідно з даними філії «Пасажирська компанія» АТ «Укрзалізниця» більшість вагонів інвентарного парку відпрацювала свій призначений термін служби. В результаті на теперішній день знос парку пасажирських вагонів наближається до 92 %.

Вітчизняне пасажирське вагонобудування з'явилося лише у 2000-х роках завдяки зусиллям ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод». Але через постійну нестачу фінансування парк пасажирських вагонів АТ «Укрзалізниця» оновлювався незначними темпами. Тому актуальним питанням для збільшення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень є подолання високого ступеня зношеності парку пасажирських вагонів.

Від віку вагонів залежать техніко-економічні та екологічні показники транспорту, ступінь надійності та безпеки руху. Глибока модернізація з продовженням терміну служби пасажирських вагонів, що проводиться АТ «Укрзалізниця», полягає в повній заміні інтер'єру, заміні електротехнічних пристроїв (генераторів, електропроводки), систем обслуговування і життєдіяльності, а також в повному розбиранні кузова, його дефектоскопіюванні та частковій заміні на ньому металевих конструкцій. Після такої

модернізації умовно відновлюють первинні техніко-експлуатаційні характеристики вагона. Однак треба розуміти, що повністю відновити їх неможливо, тому вимоги до модернізованого складу знижені. Термін експлуатації такого вагона не має перевищувати 10–12 років. При цьому експлуатаційні витрати в порівнянні з новим рухомим складом у нього збільшені.

Тому проведення порівняльного аналізу закономірностей спрацювання несучих елементів рам та кузовів пасажирських вагонів різних типів є своєчасним та актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження несучої здатності кузовів пасажирських вагонів та визначення його залишкового ресурсу присвячено ряд публікацій як в нашій країні, так і за її межами. Так, в роботі [1] наведено результати дослідження залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирських вагонів, що вже відпрацювали свій ресурс. Авторами запропоновано виконувати вибіркове обстеження кузова в трьох зонах, що дає змогу при обмеженій вибірці замірів оцінити загальний технічний стан кузова вагона.

У публікації [2] подано методичку прогнозування залишкової здатності кузовів пасажирських вагонів та управління відновленням їх ресурсу. Запропонована методика прогнозування базується на моделі швидкісних корозійних пошкоджень для різних ділянок кузова, що дає змогу виконувати імітацію технічного стану вагона в будь-який момент часу можливість за допомогою методу скінченних елементів оцінити його залишкову несучу здатність. У статті [3] наведено дослідження впливу терміну експлуатації пасажирських вагонів на величину корозійних пошкоджень металоконструкції кузовів. У роботі [4] наведено науково-технічне обґрунтування можливості продовження терміну служби пасажирських вагонів після капітально-відновлювального ремонту (КВР).

Дослідженням сучасного стану парку пасажирських вагонів власності АТ Укрзалізниця присвячені статті [5, 6, 7]. В роботі [5] проаналізовано стан парку пасажирських вагонів та зроблено висновок про необхідність негайного оновлення пасажирського рухомого складу. У роботах [6, 7] розглядаються питання технічного стану вузлів пасажирських вагонів різних років побудови та наведені результати аналізу величини зносів та пошкоджень вагонів в експлуатації.

У статті [8] запропоновані організаційно-технічні рішення щодо удосконалення системи ремонту пасажирських вагонів після продовження терміну їх експлуатації. Аналізуючи результати обстеження технічного стану вагонів, на підставі результатів теоретичних та економічних розрахунків запропоновано декілька варіантів подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів.

Автори публікації [9] пропонують методику прогнозування безпеки пасажирського залізничного рухомого складу, яка заснована на методі математичного моделювання з використанням відомих програмних систем.

У роботах [10, 11] виконана оцінка аварійності та надані пропозиції щодо модифікації залізничного пасажирського вагона. Автори, використовуючи метод скінченних елементів, виконали моделювання зіткнення пасажирського вагона з жорсткою стінкою. На першому етапі аналізу було визначено структурні слабкості вихідної конструкції. На наступному етапі автори запропонували модифіковану конструкцію пасажирського вагона. В результаті була отримана конструкція вагона з кращими аварійними властивостями, при якій навколо зіткнення виникають пластичні деформації.

Підсумовуючи результати наведеного вище аналізу, необхідно зазначити, що майже всі проаналізовані роботи спрямовані на дослідження впливу величини зносу на міцність несучих конструкцій кузова

пасажирського вагона та прогнозування можливості продовження ресурсу вагонів. Питання порівняльного аналізу закономірностей спрацювання несучих елементів рам та кузовів пасажирських вагонів різних типів залишились поза увагою дослідників. Це дасть змогу у подальшому спрогнозувати зменшення залишкового ресурсу пасажирських вагонів та більш ефективно планувати заходи для відновлення їх працездатності.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета роботи полягає в аналізі особливостей спрацювання кузовів пасажирських вагонів. Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання: розглянути результати технічного діагностування пасажирських вагонів, що вичерпали свій ресурс, а також за допомогою методів математичної статистики провести аналіз величини спрацювання несучих поверхонь елементів конструкції та проаналізувати їх закономірності.

**Основна частина дослідження.** На етапі дослідження технічного стану кузова пасажирського вагона було розглянуто близько 540 вагонів різного діапазону як за роками побудови, так і за їх типами. Основний масив вихідних даних склали результати обстеження двох типів вагонів: жорсткі купейні моделі 47Д, 47К, збудовані на заводі Waggonbau Ammendorf (Герліц, Німеччина), та некупейні відкритого типу (плацкарт) моделі 61–425, 61–821, збудовані на Калінінському вагонобудівному заводі.

Діагностування вагонів, що вичерпали призначений термін служби (який складає 28 років) було здійснене в обсязі обстеження їх технічного стану і контрольних випробувань металоконструкцій рам і кузовів, надресорних балок і рам візків вагонів відповідно до «Методики технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження» ЦЛ-0070, затвердженої наказом Укрзалізниці

№ 304-Ц від 25 червня 2008 року [12, 13]. Вимірювання величини зносів проводилися фахівцями ДП УкрНДІВ у рамках співробітництва з АТ «Укрзалізниця».

Під час обстеження технічного стану вагонів наявність тріщин, зламів, обривів, вм'ятин, зношування, деформацій, слідів ремонту, корозійних пошкоджень, зміни геометричних форм елементів кузова і рами вагона, надресорної балки і рами візка визначалися шляхом візуального огляду з наступним вимірюванням товщин. Вимірювання відбувається за допомогою ультразвукового товщиноміра «Булат-1S» з діапазоном вимірювання 0,8–200 мм та похибкою 0,01 мм. Наявність несправностей або слідів ремонту, фактичні товщини основних несучих елементів кожного вагона реєструвалися в картах технічного стану. Перерізи для вимірювання товщин вибиралися виходячи з припущення, що товщини в такому перерізі є мінімальними для даного елемента вагона, як правило, внаслідок корозійного пошкодження. Номінальні значення товщин елементів визначені за робочими кресленнями заводу-виробника. При обстеженні технічного стану вагонів використовувалися схеми

жорсткого купейного та відкритого (плацкартного) пасажирських вагонів.

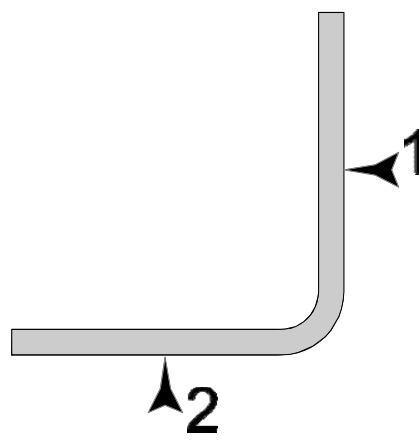
Вагони були розбиті на три умовні групи: вагони з терміном експлуатації 35–40 років, 41–45 років та понад 45 років. У наведеному матеріалі подано ілюстрації найбільш характерних розподілень спрацювань елементів пасажирських вагонів. Під час обробки даних використовувалися відомі методи математичної статистики [14], які реалізовані в пакеті програм обробки даних Microsoft Excel. При цьому порівнювалися номінальні значення товщини конструктивних елементів вагона та фактичні значення товщини з урахуванням величини зносу.

Нижня обв'язка. У вагонах вимірювання величини зносу нижньої обв'язки проводилися по всіх зазначених точках (рис. 1) як з лівої сторони, так і з правої сторони вагона. Схему вимірювання величини зносу нижньої обв'язки подано на рис. 1.

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання було виявлено зі сторони робочого тамбура в точці 2–4,5 мм, це приблизно складає 32 % зносу від номінальної товщини металу, яка дорівнює 14 мм.



а



б

Рис. 1. Схема проведення вимірювань нижньої обв'язки:

а – нижня обв'язка вагона з точками вимірювання; б – схема вимірювання

У вагонах відкритого типу з терміном служби до 35 років математичне очікування

зносу перебуває в межах від 0,523 до 0,886 мм. Максимальне значення складає

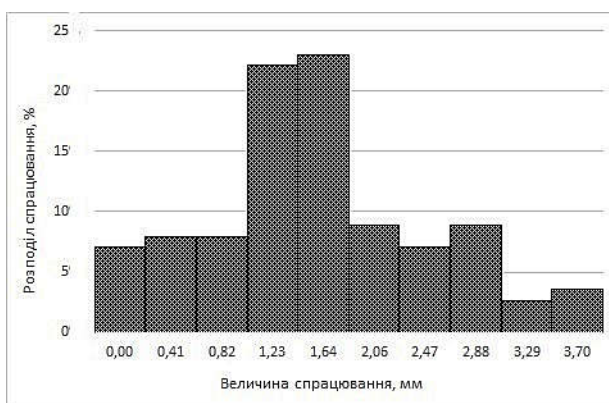
3,5 мм в точці 1. Для вагонів з терміном служби від 35 до 40 років математичне очікування коливається від 0,704 до 0,918 мм, максимальне значення складає 4,5 мм в точці 2. У вагонів з терміном служби понад 40 років математичне очікування більш суттєве: від 0,962 до 1,411 мм. Максимальне значення також виявлене в точці 2.

Максимальне значення спрацювання в купейних вагонах виявлено, як і у вагонах відкритого типу, в точці 2. Його величина дорівнює 7,1 мм, що складає 51 % зносу від номінального розміру.

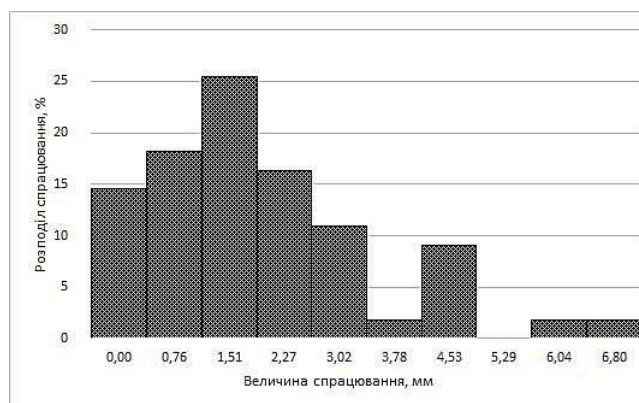
У купейних вагонах математичне очікування зносу більш істотне у порівнянні з вагонами відкритого типу: в деяких точках виміру значення збільшуються в півтора рази. У вагонів з терміном служби до 35 років математичне очікування зносу

коливається від 0,101 до 0,529 мм, максимальне значення перебуває в точці 2 і складає 4,8 мм. Для вагонів від 35 до 40 років математичне очікування зносу зростає приблизно в 2,5 рази в порівнянні з попереднім часовим періодом від 0,245 до 1,46 мм та максимальне значення 5,3 мм сягає в точці 1. Вагони з терміном служби понад 40 років мають більш значний знос в порівнянні з попередніми діапазонами експлуатації: в діапазоні від 0,375 до 1,716 мм та максимальне значення 7,1 мм в точці 2.

Характер розподілення спрацювання є рівномірним по всіх точках вимірювання (рис. 2, а, б). Якщо порівняти між собою величину спрацювання у вагонів, які мають термін служби до 35 років, та вагонів понад 40 років, то в останніх ця величина в середньому збільшується в 2–3 рази.



а



б

Рис. 2. Розподіл спрацювання нижньої обв'язки у точці 2:  
а – вагона відкритого типу; б – вагон купейний

Бокова стіна. Вимірювання відбувалось як із правої, так і з лівої сторони вагона згідно з вимогами [13]. Схему вимірювання величини зносу бокової стіни та місця заміру зображено на рис. 3.

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання було виявлено зі сторони коридору вздовж вагона (тобто у зоні розташування бічних місць для

пасажирів) і в точці 2 воно складало 2,1 мм. Також значне спрацювання було зафіксоване у підвіконному просторі та в нижній частині бокової стіни (точка 4) – 1,8 мм. Причиною підвищеного корозійного зносу в цих зонах є постійна наявність вологи у підвіконних карманах, де розташовані віконні механізми підняття-опускання.



Рис. 3. Схема проведення вимірювань бокової стіни:  
а –бокова стіна вагона з точками вимірювання; б – схема вимірювання

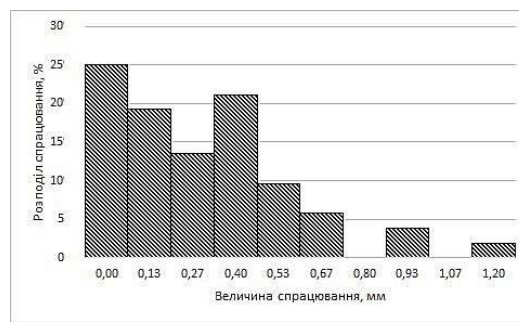
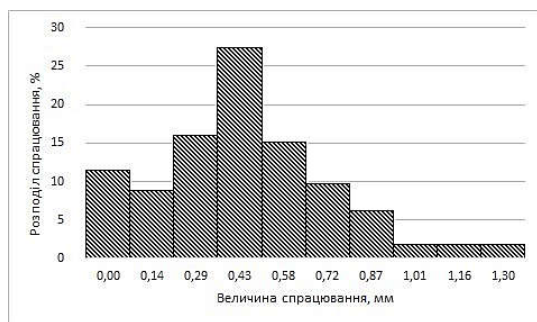
У вагонах відкритого типу з терміном служби до 35 років математичне очікування зносу коливається від 0,007 до 0,339 мм. Максимальне значення складає 1,2 мм в точці 4. Для вагонів з терміном служби від 35 до 40 років математичне очікування перебуває в межах від 0,026 до 0,381 мм, максимальне значення 1,2 мм також виявлене в точці 4. У вагонів з терміном служби понад 40 років порівняно з вагонами віком 35–40 років математичне очікування більш значне (від 0,04 до 0,405 мм), максимальне значення складає 1,8 мм в точці 4.

Максимальне значення спрацювання в купейних вагонах виявлено в точці 4 як з правої сторони вагона по боковому коридору, так і з лівої сторони, де розташовані купе для пасажирів. Величина спрацювання складає відповідно 1,5 мм з правої сторони та 1,4 мм з лівої.

У купейних же вагонах порівняно з вагонами відкритого типу математичне очікування зносу менш інтенсивне, але в

деяких точках виміру залишається на такому ж рівні. У вагонів з терміном служби до 35 років математичне очікування зносу коливається від 0,022 до 0,134 мм, максимальне значення в точці 2 складає 1,1 мм. Для вагонів з віком від 35 до 40 років математичне очікування зносу збільшується та перебуває в діапазоні від 0,02 до 0,261 мм та максимальне значення 1,5 мм сягає в точці 4. Вагони з терміном служби понад 40 років мають незначний знос в порівнянні з попереднім віковим періодом. Математичне очікування спрацювання перебуває в діапазоні від 0,005 до 0,265 мм та максимальне значення 1,3 мм виявлене в точці 4.

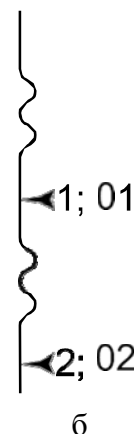
Характер розподілення спрацювання є рівномірним по всіх точках вимірювання (рис. 4, а, б). Якщо порівняти між собою величину спрацювання у вагонів, які мають термін служби до 35 років, та вагонів старіше 40 років, то в останніх ця величина в середньому збільшується у 2 рази.



а  
б  
Рис. 4. Розподіл спрацювання бокової стіни у точці 4:  
а – вагон відкритого типу; б – вагон купейний

Торцева стіна. Вимірювання відбувалось з робочого та неробочого тамбура вагона згідно з [13]. Схема

вимірювання величини зносу торцевої стіни та відображення вузла подано на рис. 5.



а  
б  
Рис. 5. Схема проведення вимірювань торцевої стіни:  
а – торцева стіна вагона з точками вимірювання; б – схема вимірювання

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання було виявлено з котлової сторони вагона в точці 2 і дорівнювало 0,9 мм при номінальній товщині 2 мм.

У вагонах відкритого типу з терміном служби до 35 років математичне очікування зносу невелике та коливається від 0,002 до 0,007 мм, максимальне значення складає 0,2 мм в точці 02. Для вагонів з терміном служби від 35 до 40 років математичне очікування також невелике, але знос вже більший – від 0,002 до 0,007 мм, максимальне значення складає 0,5 мм також

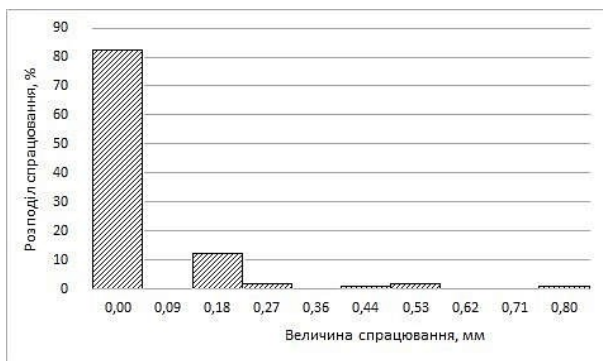
в точці 02. У вагонів з терміном служби понад 40 років математичне очікування збільшується понад 2 рази від 0,012 до 0,035 мм, максимальне значення складає 0,8 мм знову в точці 2.

У купейних вагонах математичне очікування зносу також незначне, але порівняно з вагонами відкритого типу більш інтенсивне. Вагони з терміном служби до 35 років: математичне очікування зносу коливається від 0,014 до 0,033 мм, максимальне значення в точці 1 складає 0,3 мм. Для вагонів від 35 до 40 років математичне очікування зносу збільшується

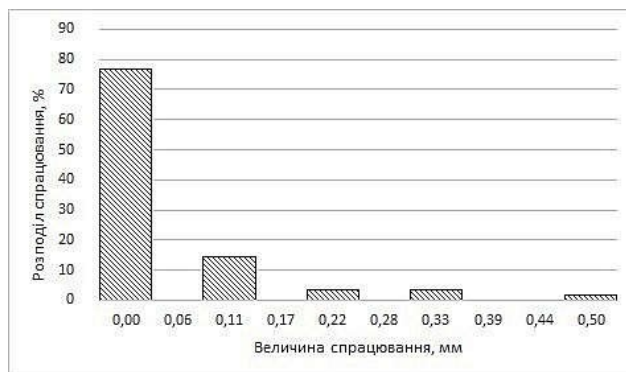
в діапазоні від 0,036 до 0,071 мм, максимального значення 0,8 мм сягає в точці 02. Вагони з терміном служби понад 40 років мають незначний знос в порівнянні з попереднім віковим періодом: від 0,037 до 0,067 мм. Максимальне значення 0,5 мм виявлене в точці 02.

Характер розподілення спрацювання є однаковим практично по всіх точках

вимірювання (рис. 6, а, б). Якщо порівняти між собою величину спрацювання у вагонів, які мають термін служби до 35 років та 35–40 років, то в останніх ця величина в середньому збільшується у 2 рази. При порівнянні вагонів, які мають термін служби 35–40 років та понад 40 років, збільшення не відбувається.



а



б

Рис. 6. Розподіл спрацювання торцевої стіни у точці 02:  
а – вагон відкритого типу; б – вагон купейний

Обшивка даху. Схему вимірювання величини зносу обшивки даху та відображення вузла подано на рис. 7.

У пасажирських вагонах вимірювання величини зносу обшивки даху проводилися

по всіх зазначених точках. Максимальне значення спрацювання обшивки даху у вагонах некупейного типу з лівої та правої сторони вагона виявлене у точках 2 та 02–0,7 мм при номінальній товщині 2 мм.



а



б

Рис. 7. Схема проведення вимірювань обшивки даху:  
а – обшивка даху вагона з точками вимірювання; б – схема вимірювання

Отримані максимальні значення у величині спрацювання по різних сторонах скату обшивки даху, у точках 2 та 02 для

вагона відкритого типу, та точки 2 та 02 для купейного вагона.

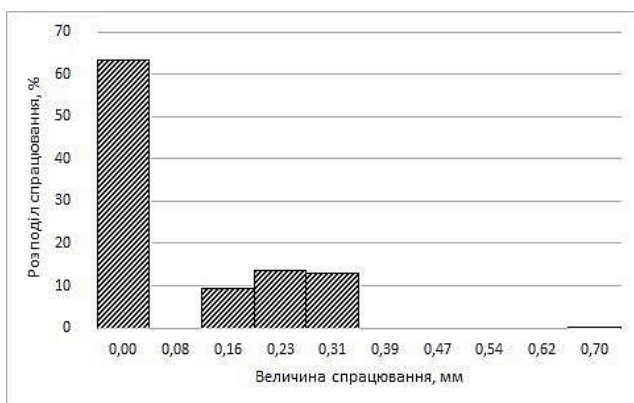


Аналіз характеру розподілу спрацювання відкритого типу вагона наочно подано на рис. 8. Очевидно, що переважна більшість пошкоджень обшивки даху згрупована у діапазоні від 0 до 0,31 мм.

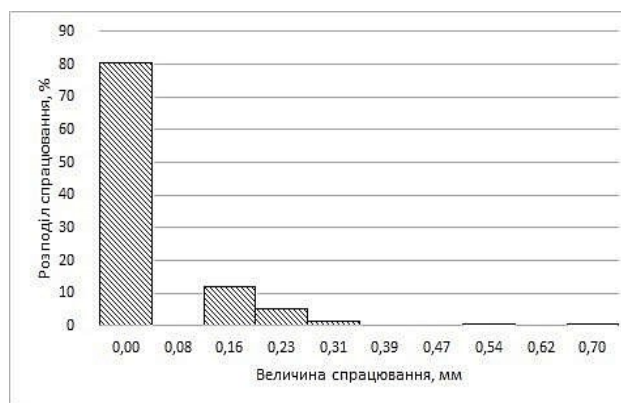
Порівняно з вагонами відкритого типу в купейних вагонах в точках (2, 02) спостерігається розбіжність в діапазоні

пошкоджень обшивки даху від 0 до 0,33 мм. Невелика розбіжність між типами вагонів зумовлена тим, що на скат обшивки даху діють однакові фактори (погодні умови, збір вологи та ін.).

Розподіл спрацювання обшивки даху для купейного вагону представлено на рис. 9.

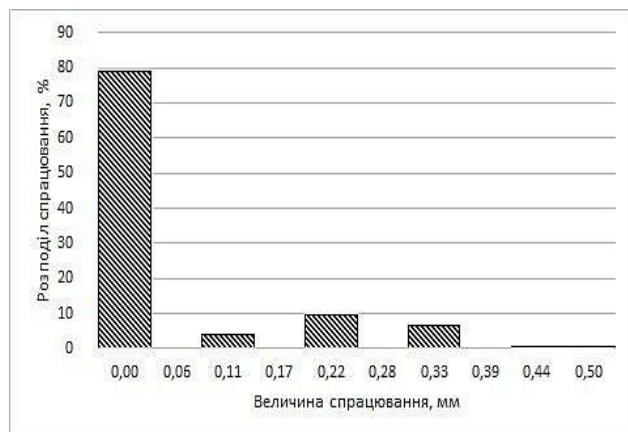


а

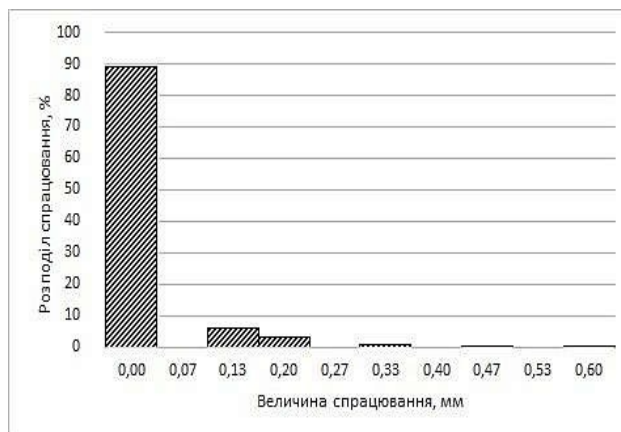


б

Рис. 8. Розподіл спрацювання обшивки даху відкритого типу: а – точка 2; б – точка 02



а



б

Рис. 9. Розподіл спрацювання обшивки даху купейного типу: а – точка 2; б – точка 02

Становить інтерес розподілення спрацювання у вагонів різних років побудови. Найбільша інтенсивність нарощування спрацювання характерна для

вагонів, термін служби яких перевищив 40 років.

Якщо порівняти між собою величину спрацювання у вагонів, які мають термін

служби до 35 років та 35–40 років, то в останніх ця величина в середньому збільшується в 1,2 рази. Аналогічне порівняння для вагонів, які мають термін служби 35–40 років та понад 40 років, свідчить про збільшення у 1,5 рази.

**Висновок.** Виконано порівняльний статистичний аналіз величини та характеру спрацювання кузовів пасажирських вагонів різних моделей з різним терміном служби.

Аналіз результатів свідчить, що вагони перебувають у незадовільному технічному стані. Однією з причин є спрацювання поверхонь кузовів вагонів. Особливо небезпечно спрацювання бокових стін у нижній частині.

Існує значна відмінність між різними типами вагонів у величині та характері спрацювання несучих елементів кузовів вагонів. Також на інтенсивність спрацювання впливає термін експлуатації.

Інтенсивне нарощування величини спрацювання несучих поверхонь кузовів може привести до створення загрози безпеці руху. Тому відстеження залежностей спрацювання кузовів дасть змогу у подальшому зі збільшеною точністю спрогнозувати зменшення залишкового ресурсу пасажирських вагонів та більш ефективно планувати заходи для відновлення їх працездатності.

### Список використаних джерел

1. Трубачов Ю. О., Головка В. Ф., Борзилов І. Д. Визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирських вагонів, що відпрацювали свій ресурс. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2001. Вип. 46. С. 34–36.
2. Пигунов А. В. Прогнозирование остаточной несущей способности кузовов пассажирских вагонов и управление восстановлением их ресурса. *Вест. Белорус. гос. ун-та тр-та*. Гомель. 2002. № 1. С. 12–17.
3. Сенько В. И., Пигунов А. В. Исследование влияния срока эксплуатации пассажирских вагонов на величину коррозионных повреждений металло-конструкции кузовов. *Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса*: Междун. науч.-практ. конф. Гомель. 2003. С. 54–55.
4. Пуларія А. Л., Лобойко Л. М., Грічаний М. А. Визначення міцнісних якостей кузова пасажирського вагона після КВР. *Зб. наук. праць*. Донецьк: ДонІЗТ, 2008. Вип. 13. С. 107–111.
5. Божок Н. О., Булгакова Ю. В., Пуларія А. Л. Дослідження сучасного стану парку пасажирських вагонів. *Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2014. Вип. 8. С. 78–87.
6. Дослідження залежностей спрацювання несучих елементів пасажирських вагонів: *зб. наук. праць ДУІТ*. Сер. Транспортні системи і технології / І. Е. Мартинов, А. В. Труфанова, В. М. Петухов, М. О. Сергієнко. Київ: ДУІТ. Вип. 36. С. 72–81.
7. Аналіз технічного стану кузовів пасажирських вагонів: *Вісн. Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер. Нові рішення в сучасних технологіях. Транспортне машинобудування / І. Е. Мартинов, А. В. Труфанова, Ю. С. Павленко, М. О. Сергієнко. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 45 (1321). С. 41–46.
8. Остапюк Б. Я. Подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів: *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2004. Вип. 4. С. 165–173.
9. Kobishanov V., Lozbinev V., Sakalo V., Antipin D., Shorohov S., Vysocky A. Passenger Car Safety Prediction. *World Applied Sciences Journal*. 2013. № 24. P. 208-212. URL: [https://www.idosi.org/wasj/wasj24\(1\)2013.htm](https://www.idosi.org/wasj/wasj24(1)2013.htm)(last access: 25.05 2021).

10. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdag S. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. Intern. Iron & Steel 02.04 – 04.04.2012 Karabük University. Istanbul. 2012. P. 579–586. URL: <https://www.researchgate.net/publication/328676559> (last access: 25.05.2021).

11. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdag E., Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. Intern. J. of Crashworthiness. London, 2011. № 16. Iss. 3. P. 319-329. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13588265.2011.566475> (last access: 25.05.2021).

12. ДСТУ 7774:2015. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахунку та проектування механічної частини вагонів, УкрНДІВ, від 22.06.2015 № 61. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=73199](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73199) (дата звернення: 25.05.2021).

13. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження. ЦЛ-0070. УкрНДІВ / А. В. Донченко, М. В. Троцький, Ю. О. Холод та ін. Київ, 2008. С. 63. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64](http://irbis-nbuv.gov.ua/irbis_nbuv/cgiirbis_64) (дата звернення: 25.05.2021).

14. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособ. для вузов. Изд. 4-е. Москва: Высшая школа, 1972. 368 с.

---

Мартинов Ігор Ернстович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-0481-3514.

Тел.: 057-7301035. E-mail: [martinov@kart.edu.ua](mailto:martinov@kart.edu.ua).

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1702-1054.

Тел.: 057-7301035. E-mail: [trufanova@kart.edu.ua](mailto:trufanova@kart.edu.ua).

Сергієнко Максим Олегович, аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-9619-2283. Контактний тел.: 057-7301035.

E-mail: [eatdustukr@gmail.com](mailto:eatdustukr@gmail.com).

Martynov Igor, D. Sc. (Tech.), professor, department of wagon engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-0481-3514. E-mail: [martinov@kart.edu.ua](mailto:martinov@kart.edu.ua).

Alyona Trufanova, PhD (Tech.), Associate Professor, department of wagon engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-1702-1054.

E-mail: [trufanova@kart.edu.ua](mailto:trufanova@kart.edu.ua).

Sergienko Maksim, Postgraduate student, department of wagon engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-9619-2283. E-mail: [eatdustukr@gmail.com](mailto:eatdustukr@gmail.com).

Статтю прийнято 14.04.2021 р.