

І.Е. Мартинов, Ю.Є. Калабухін, А.В. Труфанова, С.І. Мартинов, Я.В. Остапенко

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

## ДО ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ КУЗОВІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

*Пасажирські вагони власності АТ "Укрзалізниця" практично вичерпали свій ресурс. Встановлено, що з конструктивних елементів кузова найбільшу величину спрацювання мають нижня обв'язка, скати даху та нижня частина бокової стіни. Запропоновано під час капітально-відновлювального ремонту пасажирських вагонів виконувати модернізацію зазначених елементів шляхом використання алюмінієвих сплавів. Визначено економічний ефект від запропонованих заходів.*

**Ключові слова:** пасажирський вагон, кузов, ресурс, спрацювання, модернізація, економічний ефект.

### Постановка проблеми та її актуальність

Залізниця України вже на протязі багатьох років залишається основним елементом у пасажирських перевезеннях. Їм належить до 40 % від загального пасажирообігу.

Але частка перевезень пасажирів залізничним транспортом неухильно зменшується. Однією з причин є значний знос рухомого складу. Переважна більшість інвентарного парку пасажирських вагонів власності філії "Пасажирська компанія" вже відпрацювала свій ресурс, оскільки ці вагони в основному були збудовані ще у другій половині ХХ століття. Відповідно застарілі вагони не дозволяють збільшувати швидкість руху. Не останню роль має невисока якість обслуговування пасажирів.

Підвищення ефективності роботи залізниць потребує використання нових інноваційних технічних рішень в конструкціях нетягового рухомого складу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням підвищення ефективності пасажирського господарства присвячені рід досліджень як в нашій країні, так і за її межами. Результати досліджень [1, 2] свідчать, що для оновлення пасажирського парку вагонами нового покоління та проведення модернізації інфраструктури необхідні значні капіталовкладення. Враховуючи, що пасажирські перевезення для АТ Укрзалізниця є збитковими, власних коштів недостатньо. Необхідно залучення сторонніх інвесторів.

В статтях [3, 4] наведено результати аналізу технічного стану парку пасажирських вагонів власності АТ "Пасажирська компанія". Переважна більшість пасажирських вагонів була побудована ще за часів СРСР. Відповідно їх знос складає близько 90 %. Автори приходять до висновку, що стан

пасажирського рухомого складу підійшов до критичної межі та потребує негайного оновлення.

Як підтвердження цих висновків у статтях [5, 6] подано результати статистичного аналізу величин зносів та пошкоджень металоконструкцій рами та кузова пасажирських вагонів різних років побудови, що відпрацювали свій термін служби.

Автори досліджень [7, 8] вважають, що в умовах хронічного недофінансування капітально-відновлювальний ремонт пасажирських вагонів з продовженням терміну експлуатації є цілком розумною альтернативою придбанню вагонів нової побудови для забезпечення залізниць України пасажирськими вагонами сучасного рівня безпеки та комфорту.

В статтях [9, 10] розглянуті можливі варіанти організації ремонту та технічного обслуговування пасажирських вагонів після проведення капітально-відновлювальних ремонтів.

Структурні вимоги до конструкції пасажирських вагонів викладені у нормативному документі [11]. Питання використання композитних матеріалів для виготовлення кузовів рухомого складу розглянуті у статті [12].

У статті [13] надано оцінку техніко-економічних показників роботи існуючого тягового рухомого складу при переміщенні пасажирських поїздів з урахуванням умов експлуатації.

Авторами дослідження [14] запропоновано удосконалення методу розрахунку експлуатаційних витрат пасажирських перевезень за рахунок визначення витрат енергоресурсів на тягу поїздів для різних типів пасажирського тягового рухомого складу з урахуванням показників, які змінюються під впливом збільшення швидкості руху, розроблено економіко-математичну модель, яка дає можливість визначення експлуатаційних витрат та рентабельності складу пасажирського поїзду при різноманітних умовах експлуатації.

У статті [15] розглянуті питання забезпечення стійкого соціально-економічного розвитку залізничного транспорту України зокрема та подано методичний підхід до визначення соціального ефекту від збереження пасажирського руху малодіяльних ділянок.

В роботі [16] подано методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування пасажирських поїздів різних видів, який базується на зниженні їх експлуатаційних витрат та підвищенні швидкості руху при зміні організації руху за новою класифікацією поїздів, що дозволить підняти економічну ефективність або знизити збитковість пасажирських перевезень та підвищити їх конкурентоспроможність на ринку пасажирських транспортних послуг.

У статті [17] розглядаються шляхи підвищення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень в Україні. Увага акцентується на підвищенні ефективності пасажирських перевезень за рахунок збільшення швидкості руху поїздів, зростання якості наданих транспортних послуг та поліпшення комфортності перевезення пасажирів. Запропоновано новий підхід до оцінки ефективності залізничних пасажирських перевезень.

Техніко-економічні показники роботи залізничних пасажирських перевезень систематизовані у [17]. Також у цій статті надано аналіз динаміки вартісних показників і визначено їх вплив на ефективність цих перевезень через визначення причин зниження ефективності пасажирського комплексу залізничного транспорту України.

### Формулювання мети статті

Метою даної роботи є дослідження ефективності удосконалення конструкцій кузовів пасажирських вагонів, що вичерпали свій ресурс. Для цього необхідно визначити, які з елементів конструкції кузова мають найбільше спрацювання в експлуатації, запропонувати технічні рішення щодо модернізації кузовів пасажирських вагонів та обґрунтувати їх економічну доцільність.

### Виклад основного матеріалу

Діагностування вагонів, що вичерпали призначений термін служби (28 років), було здійснене в обсязі обстеження їх технічного стану і контрольних випробувань металоконструкцій рам і кузовів, надресорних брусів і рам візків зразків 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 [19].

Обстеженню технічного стану кузовів пасажирських вагонів, що відпрацювали свій ресурс, підлягали два типи вагонів: жорсткі купейні моделі 47Д, 47К, збудовані на заводі Waggonbau Ammendorf (Німеччина), та некупейні відкритого типу (плацкарт) моделі 61-425, 61-821, збудовані на Калінінському (нині Тверському) вагонобудівному заводі. Всього було оглянуто близько 540 вагонів різного діапазону за роками побудови.

Визначення технічного стану вагонів проводилося шляхом візуального огляду з наступним вимірюванням товщин. При цьому зверталась увага на наявність тріщин, зламів, обривів, вм'ятин, зношування, деформацій, слідів ремонту, корозійних пошкоджень, зміни геометричних форм елементів кузова і рами вагона. Результати огляду та фактичні товщини основних несучих елементів вагона реєструвалися в картах технічного стану. Вимірювання здійснювалися як з котлової, так і некотлової сторони вагону.

Номінальні значення товщин елементів визначені за робочими кресленнями заводу-виробника. При обстеженні технічного стану вагонів використовувалися схеми купейного та відкритого (плацкартного) пасажирських вагонів.

Під час проведення аналізу результати обстежень металоконструкцій вагонів були розбиті на п'ять умовних груп: вагони з терміном експлуатації 29-32 роки, 33-36 років, 37-40 років, 41-44 роки та понад 45 років. При цьому порівнювалися номінальні значення товщини конструктивних елементів вагону та фактичні значення товщини з урахуванням величини зносу. В цій статті розглянуті пошкодження найбільш вразливих елементів кузова.

**Нижня обв'язка вагону.** У вагонах вимірювання величини зносу нижньої обв'язки проводилися як з лівої сторони, так і з правої сторони вагону (рис. 1).

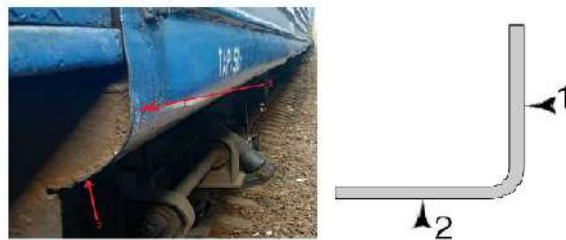


Рис. 1. Схема проведення вимірювань нижньої обв'язки

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання було виявлено з робочої сторони тамбуру в точці 2. Його величина дорівнювала 4,5 мм. Це приблизно складає 32 %

знос від номінальної товщини металу. 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.

В результаті дослідження отримані залежності зростання інтенсивності спрацювання для купейних вагонів та вагонів відкритого типу по рокам (рис. 2).

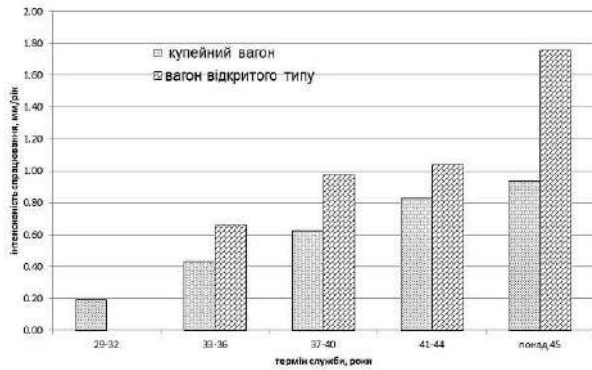


Рис. 2. Інтенсивність спрацювання нижньої об'язки у купейних вагонах та вагонах відкритого типу

Очевидно, що вони мають характер, близький до лінійного. А інтенсивність спрацювання у вагонах відкритого типу у всіх вікових групах більше, ніж у купейних вагонах. Особливо це характерно для вагонів з терміном служби понад 45 років (перевищення практично вдвічі).

**Обшивка даху.** Схема вимірювання величини зносу обшивки даху та відображення вузла зображена на рис. 3.



Рис. 3. Схема проведення вимірювань обшивки даху

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

Відповідно для купейних вагонів в цих же точках максимальна величина спрацювання складала 0,6 мм.

Значно більшою є величина спрацювання на скатах даху. Вона дорівнює 2 мм на обох типах вагонів. Це зумовлено тим, що на скат обшивки даху діють однакові фактори (погодні умови, постійне вологі та ін.).

На рис. 4 наведені отримані залежності зростання інтенсивності спрацювання для жорстких

купейних вагонів та вагонів відкритого типу терміну експлуатації.

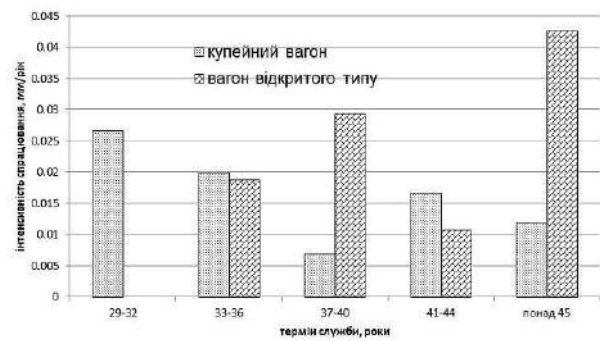


Рис. 4. Інтенсивність спрацювання скату даху у купейних вагонах та вагонах відкритого типу

Якщо у вагонах відкритого типу зі збільшенням терміну експлуатації спостерігається тенденція до збільшення спрацювання, то в купейних вагонах – навпаки.

**Бокова стіна.** Вимірювання відбувалось як із правої, так і з лівої сторони вагону згідно вимог [19]. Схема вимірювання величини зносу бокової стіни та відображення вузла зображена на рис. 5.



Рис. 5. Схема проведення вимірювань обшивки бокової стіни

Для вагонів відкритого типу характерним є підвищений корозійний знос обшивки бокової стіни в нижній частині у підвіконному просторі бокової стіни (точка 4). Причиною є постійне потрапляння вологи у дощову погоду через відкриті вікна у підвіконні кармани, де розташовані механізми підняття-опускання вікон. При закритих вікнах у купе (або глухих вікнах по проході) появу вологи спричиняє наявність конденсату у холодну пору року. Максимальне значення спрацювання у точці 4

складало 1,8 мм.

Максимальне значення спрацювання було виявлено зі сторони коридору вздовж вагону (тобто у зоні розташування бічних місць для пасажирів) і в точці 2 воно складало 2,1 мм.

Для жорстких купейних вагонів максимальне значення спрацювання виявлено в точці 4 як з правої сторони вагону 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.

На рис. 6 наведені отримані залежності зростання інтенсивності спрацювання для жорстких купейних вагонів та вагонів відкритого типу по рокам.

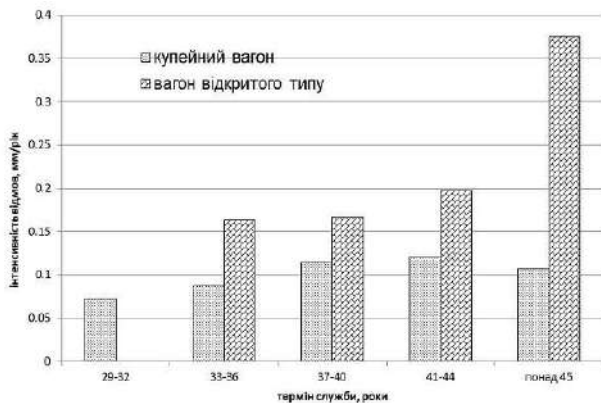


Рис. 6. Інтенсивність спрацювання обшивки бокової стіни у купейних вагонах та вагонах відкритого типу

У вагонах відкритого типу різке збільшення інтенсивності спрацювання бокової стіни спостерігається вже після 44 років експлуатації.

У купейних вагонах максимальна інтенсивність спрацювання бокової стіни характерна для вагонів віком 41-44 роки.

**Хребтова балка.** Схема вимірювання величини зносу хребтової балки зображена на рис. 7.

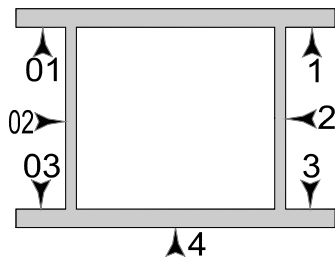


Рис. 7. Схема проведення вимірювань хребтової балки

Для вагонів відкритого типу максимальна величина спрацювання складає 6 мм, а для купейних вагонів – 4 мм.

На рис. 8 наведені отримані залежності зростання інтенсивності спрацювання хребтової

балки для жорстких купейних вагонів та вагонів відкритого типу по рокам.

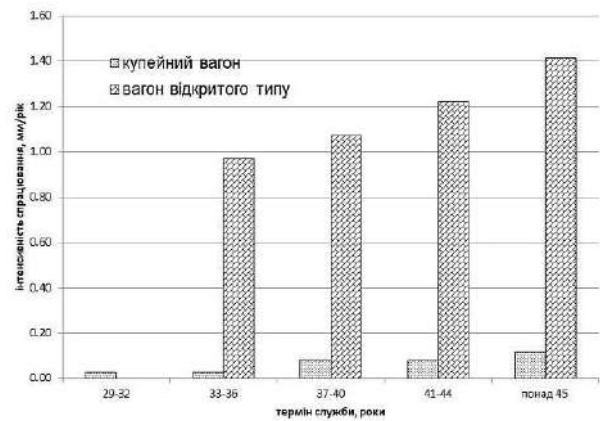


Рис. 8. Інтенсивність спрацювання хребтової балки у купейних вагонах та вагонах відкритого типу

Інтенсивність спрацювання для вагонів відкритого типу значно перевищує цей показник для купейних вагонів. Відрізняється також і характер розподілення інтенсивності спрацювання. Якщо для вагонів відкритого типу він має лінійний характер зростання, то для купейних вагонів у період 28-36 років практично не змінюється, а потім спостерігається (понад 4 рази) зростання.

**Торцева стіна.** Вимірювання відбувалось з робочого та неробочого тамбуру вагону. Схема вимірювання величини зносу торцевої стіни та відображення вузла подано на рис. 9.

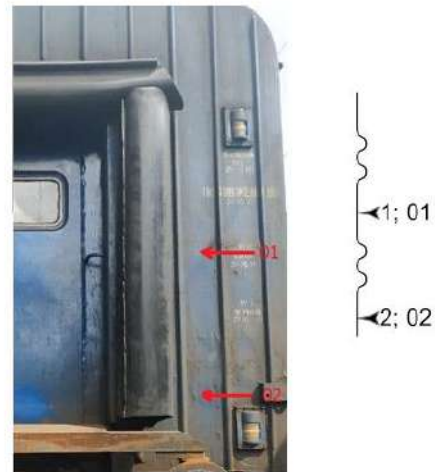


Рис. 9. Схема проведення вимірювань обшивки торцевої стіни

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання було виявлено з котлової сторони вагону в точці 2 і дорівнювало 0,9 мм при номінальній товщини 2 мм. У купейних вагонів максимальне значення спрацювання було виявлено з котлової сторони вагону в точці 1 і дорівнювало 0,8

мм при номінальній товщини 2 мм.

На рис. 14-15 наведені отримані залежності зростання інтенсивності спрацювання торцевої стіни для жорстких купейних вагонів та вагонів відкритого типу по рокам.



Рис. 14. Інтенсивність спрацювання торцевої стіни у купейних вагонах та вагонах відкритого типу

Очевидно, що закономірності спрацювання принципово відрізняються у різних типів вагонів. Якщо у купейних вагонів інтенсивність має тенденцію до плавного лінійного зростання, то у відкритих вагонів, які вже відпрацювали понад 45 років, спостерігається збільшення інтенсивності спрацювання в шість разів.

Отримані результати свідчать, що найбільш часто в експлуатації у пасажирських вагонів пошкоджується нижня об'язка, скат даху та нижня частина бокової стіни. Тому доцільним є під час проведення капітально-відновлювальних ремонтів провести модернізацію кузовів пасажирських вагонів шляхом заміни у зазначених місцях сталевих листа та прокату на алюмінієвий сплав [20]. Серед переваг такого технічного рішення є збільшення корозійної стійкості кузова, що значно підвищує термін служби вагонів, та зменшення маси вагону.

Останнє, в свою чергу дозволяє зменшити питомий опір руху поїздів. Ця обставина обумовлює скорочення витрат палива та електроенергії на тягу поїздів, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати залізничного транспорту на енергоспоживання.

В розрахунках приймаємо, що для переміщення пасажирських поїздів застосовуються: при тепловозній тязі тепловоз серії ТЕП70, при електровозній – електровоз змінного струму серії ЧС4, як ті, що обслуговують рух пасажирських поїздів за напрямом, який вибрано для розрахункового дослідження.

Скористаємось положеннями теорії локомотивної тяги [21, 13], а також декотрими дослідженнями факторів, які впливають на витрату

енергоносіїв [22, 23].

Витрата палива для поїзної роботи тепловоза  $G_p$  на ділянці визначається витратою палива у парному  $G_{п.н}$  та непарному  $G_{нп.н}$  напрямках.

Витрата палива за напрямками визначається за формулами:

$$G_{п.н} = \int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} G_{п.н}(\tau) \times d\tau, \quad (1)$$

$$G_{нп.н} = \int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} G_{нп.н}(\tau) \times d\tau, \quad (2)$$

де  $\tau_s$  – час проходження локомотива з пасажирським поїздом елемента профілю ділянку.

Питома витрата палива на вимірник експлуатаційної роботи (1000 пас-км) визначається за формулою

$$b_p = \frac{\int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} G_{п.н}(\tau) \cdot d\tau + \int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} G_{нп.н}(\tau) \cdot d\tau}{(P_{п.н} + P_{нп.н}) \times l_T \cdot 10^3}, \quad (3)$$

де  $P_{п.н}$ ,  $P_{нп.н}$  – кількість пасажирів що слідує відповідно, в парному та непарному напрямках, пас.;

$l_T$  – відстань, яку прослідував тепловоз в голові пасажирського поїзду в парному та непарному напрямку, км.

Витрата електроенергії для поїзної роботи електровоза  $A_e$  на ділянці визначається витратою електроенергії у парному  $A_{п.н}$  та непарному  $A_{нп.н}$  напрямках.

$$A_{п.н} = \int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} A_{п.н}(\tau) \times d\tau, \quad (4)$$

$$A_{нп.н} = \int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} A_{нп.н}(\tau) \times d\tau. \quad (5)$$

Питома витрата електроенергії на вимірник експлуатаційної роботи (1000 пас-км) визначається за формулою

$$a_e = \frac{\int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} A_{п.н}(\tau) \cdot d\tau + \int_{\tau_s}^{\tau_{s+1}} A_{нп.н}(\tau) \cdot d\tau}{(P_{п.н} + P_{нп.н}) \cdot l_e \cdot 10^3}, \quad (6)$$

де  $l_e$  – відстань, яку прослідував електровоз в голові пасажирського поїзду в парному та непарному напрямку, км.

Скористаємось основними положеннями тягових розрахунків для визначення енергоспоживання на переміщення пасажирського

поїзду за умовами профілю реальної ділянки регіональної філії «Південна залізниця» тепловозною та електровозною тягою при базовому варіанті та варіанті пасажирських вагонів із зменшеною масою тари (новий варіант) у складі поїзду.

У непарному напрямку профілю ділянки регіональної філії "Південна залізниця" переважаючим є профіль з ухилом 0...1‰, у парному напрямку також – 0...1‰. Загальна довжина ділянки обертання вантажного поїзду складає 344,502 км. На ділянці в обох напрямках поїзд має 6 зупиночних пунктів.

Для виконання тягових розрахунків, крім характеристики профілю ділянки необхідно задати, як при використанні тепловозної, так і при використанні електровозної тяги, наступні вихідні дані:

- маса поїзду в тонах;
- кількість вагонів у поїзді за типами;
- середня населеність вагона поїзду;
- технічна швидкість.

Для визначення цих показників скористаємось довідковими показниками розкладу руху пасажирських поїздів на ділянці регіональної філії «Південна залізниця» за 2023 рік, що наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані до тягового розрахунку у непарному/парному напрямках

Найменування показника	Станція формування	Разом
Відстань, км		344,51
Відправлення, год.:хв.	22:30/0:39	
Прибуття, год.:хв.	04:02/6:27	
Час в ходу, год.		5,07/5,32
Час зупинок, год.		0,47/0,48
Технічна швидкість, км/год		68,0/64,8
Дільнична швидкість, км/год		62,3/59,4
Коефіцієнт дільничної швидкості		0,92/0,92

Таблиця 2

Вихідні дані до тягового розрахунку

Найменування показника	Варіант вагона	
	базовий	новий
1	2	3
Кількість вагонів у складі поїзду, всього	18	18
- купейних	15	15

Продовження табл. 2

1	2	3
- спальних	3	3
Кількість посадочних місць у вагоні:		
- купейному	38	38
- спальному	19	19
Маса тари вагона, т.:		
купейного	56	54,5
спального	56	54,5
Маса пасажирів з багажем, кг	100	100

Середня населеність вагона пасажирського поїзду визначається за формулою

$$P_n = \frac{n_{к.в} \cdot M_{к.в} + n_{с.в} \cdot M_{с.в}}{n_{к.в} + n_{с.в}}, \quad (7)$$

де  $n_{к.в}$ ,  $n_{с.в}$  – кількість пасажирських вагонів у складі поїзду відповідно, купейних та спальних, ваг.;

$M_{к.в}$ ,  $M_{с.в}$  – кількість посадочних місць у вагоні відповідно, купейному та спальному, місць.

Маса состава пасажирського поїзду визначається за формулою

$$m_c = q_{к.в} \cdot n_{к.в} + q_{с.в} \cdot n_{с.в} + \frac{P_n \cdot m_p}{1000} \cdot (n_{к.в} + n_{с.в}), \quad (8)$$

де  $q_{к.в}$ ,  $q_{с.в}$  – маса тари вагона відповідно, купейного та спального, т.;

$m_p$  – маса пасажирів з багажем, кг

Результати розрахунку вихідних даних для проведення тягових розрахунків за варіантами пасажирських вагонів тепловозною та електровозною тягою свідчать, що середня населеність як для базового, так і для модернізованого вагона складе 34,8 пасажирів в обох напрямках. Маса составу в обох напрямках складе 1071 тон для базового вагону та 1044 для модернізованого вагона. Відповідно маса поїзду (з урахуванням маси локомотива) в обох напрямках складе 1201 тон для базового вагону та 1174 для модернізованого вагона при тепловозній тязі, та відповідно, 1197 і 1170 тон при електровозній тязі.

Результати тягового розрахунку за варіантами пасажирських вагонів при переміщенні електровозною тягою наведено у таблиці 3.

Результати тягового розрахунку за варіантами пасажирських вагонів при переміщенні тепловозною тягою наведено у таблиці 4.

Використовуючи результати тягових розрахунків, визначимо витрату енергоресурсів тепловозною та електровозною тягою за всім маршрутом курсування пасажирського поїзду за

варіантами вагонів. Для цього слід врахувати відстань обслуговування маршруту тепловозною та електровозною тягою, що надано в таблиці 5.

Таблиця 3

Результати тягового розрахунку за варіантами пасажирських вагонів при переміщенні електровозною тягою в середньому по обороту

Найменування показника	Варіант вагона	
	базовий	новий
Маса складу, т	1071	1044
Вантажообіг, ткм. брутто	737920,5	719317,5
Пробіг поїзда, поїздо-км	689,2	689,2
Час на маршруті, год	11,30	11,29
Технічна швидкість, км/год	66,59	66,65
Дільнична швидкість км/год	60,99	61,05
Коефіцієнт дільничної швидкості	0,916	0,916
Витрата електричної енергії на тягу, кВт-год.	16069,7	15035,9
Пасажиरोоборот, пас-км	432016	432016
Питома витрата електричної енергії на вимірник, кВт-год/1000 пас-км	37,20	34,80

Таблиця 4

Результати тягового розрахунку за варіантами пасажирських вагонів при переміщенні тепловозною тягою в середньому по обороту

Найменування показника	Варіант вагона	
	базовий	новий
Маса складу, т	1071	1044
Вантажообіг, ткм. брутто	737920,5	719318,0
Пробіг поїзда, поїздо-км	689,2	689,2
Час на маршруті, год	11,40	11,39
Технічна швидкість, км/год	65,95	66,02
Дільнична швидкість км/год	60,46	60,51
Коефіцієнт дільничної швидкості	0,917	0,917
Витрата електричної енергії на тягу, кВт-год.	2158,0	2132,6
Пасажирооборот, пас-км	432016	432016
Питома витрата палива енергії на вимірник, кг/1000 пас-км	5,00	4,94

Таблиця 5

Відстань обслуговування маршруту тепловозною та електровозною тягою

Найменування показника	Непарний напрямок	Парний напрямок	Разом
Відстань обслуговування маршруту тепловозною тягою, км	155,6	155,6	311,2
Відстань обслуговування маршруту електровозною тягою, км	333,4	333,4	666,8
Разом	489	489	978

Результати розрахунку витрати енергоресурсів за видами тяги наведено в таблицях 6 та 7.

Таблиця 6

Результати розрахунку витрати палива тепловозною тягою для переміщення пасажирського поїзду за варіантами вагонів

Найменування показника	Варіант вагона	
	базовий	новий
Відстань обслуговування рейсу тепловозною тягою, км	311,2	311,2
Маса складу, т	1071	1044
Пасажирооборот, пас-км	195122,4	195122,4
Витрата палива на тягу, кг	975	963

Таблиця 7

Результати розрахунку витрати електроенергії електровозною тягою для переміщення пасажирського поїзду за варіантами вагонів

Найменування показника	Варіант вагона	
	базовий	новий
Відстань обслуговування рейсу електровозною тягою, км	666,8	666,8
Маса складу, т	1071	1044
Пасажирооборот, пас-км	418083,6	418083,6
Витрата електричної енергії на тягу, кВт-год.	15551,5	14551,0

Економія енергоресурсів для тяги пасажирського поїзду за рейс визначається за формулами:

- при тепловозній тязі

$$\Delta G_{\text{п}} = G_{\text{п}}^{\text{б}} - G_{\text{п}}^{\text{н}}, \quad (9)$$

- при електровозній тязі

$$\Delta A_{\text{е}} = A_{\text{е}}^{\text{б}} - A_{\text{е}}^{\text{н}}, \quad (10)$$

де  $G_{\text{п}}^{\text{б}}, G_{\text{п}}^{\text{н}}$  – витрата палива на тягу пасажирського поїзду за рейс відповідно, з базовими та новими вагонами, кг;

$A_{\text{е}}^{\text{б}}, A_{\text{е}}^{\text{н}}$  – витрата електроенергії на тягу пасажирського поїзду за рейс відповідно, з базовими та новими вагонами, кВт-год.

За даними розкладу руху за маршрутом (таблиця 8) визначимо оборот пасажирського поїзду.

Кількість оборотів пасажирського поїзда за рік визначається за формулою

$$N_{\text{o}} = \frac{365 \times 24}{O_{\text{п.п}}}, \quad (11)$$

де  $O_{\text{п.п}}$  – оборот пасажирського поїзда, год.

Таблиця 8

Розклад руху пасажирського поїзду за маршрутом

Найменування маршруту курсування	Час		
	відправлення	прибуття	на маршруті, год.
Станція формування-станція обороту	22:30	6:10	7,67
Простій вагона по обороту			16,75
Станція обороту-станція формування	22:55	6:27	7,53
Простій вагона в депо приписки			16,05
Оборот пасажирського поїзда			48,00

Річна економія витрат на енергоресурси на тягу пасажирських поїздів за умовами курсування на конкретному маршруті визначається за формулами:

- при тепловозній тязі

$$\Delta E_{\text{п}} = \Delta G_{\text{п}} \times N_{\text{o}} \times C_{\text{п}}, \quad (12)$$

- при електровозній тязі

$$\Delta E_{\text{е}} = \Delta A_{\text{е}} \times N_{\text{o}} \times C_{\text{е}}, \quad (13)$$

де  $C_{\text{п}}, C_{\text{е}}$  – ціна відповідно, 1-го кг палива та 1-ї кВт-год. електроенергії, грн.

Результати визначення річної економії витрат на енергоресурси на тягу пасажирських поїздів за умовами курсування на конкретному маршруті наведено у таблицях 9 та 10.

Таблиця 9

Результати визначення річної економії витрат на паливо на тягу пасажирських поїздів за умовами курсування на конкретному маршруті

Найменування показника	Значення показника
Кількість оборотів пасажирського поїзду за рік	182,5
Економія витрати палива на тягу за рейс, кг.	11
Річна економія витрати палива на тягу за маршрутом, кг	2094
Ціна 1 кг палива, грн.	58,43
Річна економія витрат на паливо на тягу, тис. грн.	122,332

Таблиця 10

Результати визначення річної економії витрат на електроенергію на тягу пасажирських поїздів за умовами курсування на конкретному маршруті

Найменування показника	Значення показника
Кількість оборотів пасажирського поїзду за рік	182,5
Економія витрати електроенергії на тягу за рейс, кВт-год.	1000,5
Річна економія витрати електроенергії на тягу за маршрутом, кВт-год.	182584
Ціна 1 кВт-год. електроенергії, грн.	4,6
Економія витрати електроенергії на тягу за рейс, кВт-год.	839,887

Таким чином, річна економія витрат на енергоресурси на тягу пасажирських поїздів при використанні пасажирських вагонів із зменшеною масою тари за умовами курсування на конкретному маршруті складає

$$\Delta E = 122,332 + 839,887 = 962,219 \text{ тис. грн.}$$



## Висновки

На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. За результатами статистичної обробки результатів обстежень технічного стану металоконструкцій кузовів купейних вагонів та вагонів відкритого типу, що вже відпрацювали свій ресурс, визначено, найбільше спрацювання мають нижня обв'язка (понад 7 мм, 50 % від номінального розміру), скат даху (понад 2 мм, 35 % від номінального розміру), та нижня частина бокової стіни (понад 2 мм, 42 % від номінального розміру).

2. Запропоновано під час проведення капітально-відновлювальних ремонтів проводити модернізацію кузовів пасажирських вагонів шляхом заміни у зазначених вище місцях сталевих листів та прокату на алюмінієвий сплав. Це дозволяє зменшити масу тари вагону та витрати палива та електроенергії на тягу поїздів.

3. При розрахунках вважалося, що для переміщення пасажирських поїздів застосовуються при тепловозній тязі тепловоз серії ТЕП70, при електровозній – електровоз змінного струму серії ЧС4.

4. Річна економія витрат на енергоресурси на тягу пасажирських поїздів при використанні пасажирських вагонів із зменшеною масою тари складає 962,219 тис. грн.

## Література

- Самсонкін В. М. Про підвищення ефективності пасажирських перевезень на залізничному транспорті / В. М. Самсонкін // Залізничний транспорт України. - 2004. - № 1. - С. 43-45.
- Самсонкін В. М. Основи реорганізації пасажирського комплексу залізничного транспорту / В. М. Самсонкін, О. М. Гудков // Вісник економіки транспорту і промисловості. - 2009. - № 25. - С. 78-81.
- 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. <https://doi.org/10.15802/pte.v0i8.40830>
- Лобойко Л. М. Стан вагонного парку та вагоноремонтної бази в Україні / Л. М. Лобойко, Ю. С. Бараиш // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна "Проблеми економіки транспорту". - 2007. - Вип. 19. - С. 176-182.
- Мартинов І. Е. Аналіз технічного стану кузовів пасажирських вагонів / І. Е. Мартинов., А. В. Труфанова, Ю. С. Павленко, М. О. Сергієнко // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Транспортне машинобудування. - 2018. - № 45 (1321). - С. 41-46. doi: [10.20998/2413-4295.2018.45.06](https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.06)
- Шукунов О. А. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів / О. А. Шукунов, О. Г. Рейдемейстер, В. Г. Анофрієв // Вагонный парк. - 2012. - 12. - С. 4-6.
- Єжов Ю. В. Капітально-відновлювальний ремонт пасажирських вагонів локомотивної тяги як засіб забезпечення залізниць рейковим рухомим складом / Ю. В. Єжов, Ю. С. Павленко, О. І. Войтенко, В. С. Речкалов // Збірник наукових праць "Рейковий рухомий склад". - 2018. - Вип. 17. - С. 51-61.
- Бараиш Ю. С. Стратегія раціонального оновлення пасажирського вагонного парку в умовах дефіциту інвестицій. / Ю. С. Бараиш // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. "Проблеми економіки транспорту" - 2006. - Вип. 10. - С. 130-140.
- Остапюк Б. Я. Подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів. / Б. Я. Остапюк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. "Проблеми економіки транспорту" - 2004. - Вип. 4. - С. 165-173.
- Лобойко Л. М. Проблеми і перспективи пасажирського вагостроєння в Україні / Л. М. Лобойко // Залізничний транспорт України. - 2006. - № 3. - С. 3-9.
- EN 12663-2:2010, Railway applications, Structural requirements of railway vehicle bodies, Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons), 2010.
- J.S. Kim, S.J. Lee, K.B. Shin, Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody, Composite Structures. 78(4) (2007) 468-476.
- Данько М. І. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників роботи магістральних локомотивів при пасажирських перевезеннях / М. І. Данько, Ю. Є. Калабухін // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. - 2009. - Вип. 102. - С. 191-201.
- Єрємін М. О. Удосконалення методу розрахунку експлуатаційних витрат пасажирських залізничних перевезень / М. О. Єрємін, Ю. Є. Калабухін // Економіка: проблеми теорії та практики. 2009. т. VI, № 254. С. 1401-1405.
- Калабухін Ю. Є. Урахування соціальної складової ефективності техніко-організаційних заходів пасажирських перевезень залізничного транспорту / Ю. Є. Калабухін, О. І. Зоріна, В. В. Ткаченко // Ефективна економіка. 2013. №3. - Режим доступу до журналу: <http://www.economy.nayka.com.ua>
- Бараиш Ю. С. Теоретично-методичний підхід до визначення конкурентоспроможності послуг, що надаються пасажирськими видами транспорту / Ю. С. Бараиш, А. А. Покотілов, Т. Ю. Чаркіна // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. "Проблеми економіки транспорту". 2011. Вип. 38. С. 233-237.
- Матусевич О. О. Засоби підвищення ефективності залізничних пасажирських перевезень та методи їх реалізації / О. О. Матусевич // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного ун-ту трансп. Сер. "Економіка і управління". - 2013. - Вип. 23-24. - С. 142-149.
- Матусевич О. О. Вартісні техніко-економічні показники та ефективність залізничних пасажирських перевезень / О. О. Матусевич // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. «Проблеми економіки транспорту». - 2013. - Вип. 5. - С. 72-79. DOI: <https://doi.org/10.15802/pte.v0i5.19477>
- Донченко А. В. Троцький М. В. Холод Ю. О. [та ін.], Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження ЦЛ-007.- УкрНДІВ. -Київ.- 2008. - С. 63.
- Геворкян Е. С. Нові матеріали та їх одержання: підручник / Е. С. Геворкян, Г. Д. Семченко Г. Д.,

Л. А. Тимофеева, Нерубацький В. П. - Харків: Діса+. - 2015. - 344 с.

21. Калабухін Ю. Є. Удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу: дис. .... д-ра технічних наук: 05.22.07. Х.: УкрДАЗТ, 2010 - 420 с.

22. Калабухін Ю.Є. Результати дослідження впливу експлуатаційних факторів на тягово-енергетичні показники використання тепловозної тяги у вантажному русі. / Ю. Є. Калабухін //Збірник наукових праць УкрДАЗТ. - 2011. - Вип. 122. - С. 66-75.

23. Калабухін Ю. Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників роботи магістрального локомотива при переміщенні вантажного поїзду / Ю. Є. Калабухін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. - СНУ. - 2009. - №2(132). - С.157-163.

### References

1. Samsonkin V. M. (2004) Pro pidvyshennia efektyvnosti pasazhurskikh vagoniv na zaliznychnomy transporti. *Zaliznychnyy transport Ukrainy*. № 1, pp. 43-45.

2. Samsonkin V. M. et al. (2009) Osnovy reorganizatsii pasazhurskoho kompleksu zaliznychnoho transportu. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*. № 25, pp. 78-81.

3. Bozhok N. O. et al. (2014) Current state investigation of passenger cars. *Problemi ekonomiki transportu*. № 8, pp.78-87. <https://doi.org/10.15802/pte.v0i8.40830>

4. Loboiko L. M. et al. (2007) Stan vahonnoho parku ta vahonoremontnoyi bazy v Ukraini. *Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Problemy ekonomiky transportu"*. № 19, pp. 176-182.

5. Martynov, I., Trufanova, A., Pavlenko, Y., Serhienko, M. (2018) Analysis of the technical condition of passenger wagons. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, 45 (1321), 41–46, doi: [10.20998/2413-4295.2018.45.06](https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.06)

6. Shykunov O. A. et al. (2012) Doslidzhennya hranychnoho stanu pasazhurs'kykh vahoniv. *Vahonnyy park*. № 12, pp. 4-6.

7. Yezhov Yu. et al. (2018) Kapital'no-vidnovlyuval'nyy remont pasazhurs'kykh vahoniv lokomotyvnoyi tyahy yak zasib zabezpechennya zaliznyts' reykovym rukhomym skladom. *Zbirnyk naukovykh prats "Reikovi rukhomiy sklad"* № 17, pp. 51-61.

8. Barash Yu. S. (2006) Stratehiya ratsional'noho onovlennya pasazhurs'koho vahonnoho parku v umovakh de-fitsytu investytsiy. *Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Problemy ekonomiky transportu"*. № 10, pp.130-140.

9. Ostapyuk B. Ya. (2004) Podovzhennya terminu ekspluatatsiyi pasazhurs'kykh vahoniv. *Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Problemy ekonomiky transportu"*. № 4, pp.165-173.

10. Loboiko L. M. (2006) Problemy i perspektivy pasazhurskoho vagonostroyeniya v Ukraini. *Zaliznychnyy transport Ukrainy*. № 3, pp. 3-9.

11. EN 12663-2:2010, Railway applications, Structural requirements of railway vehicle bodies, Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons), 2010.

12. J.S. Kim, S.J. Lee, K.B. Shin, (2007) Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody, *Composite Structures*. № 78(4). pp.468-476.

13. Dan'ko M. I. et al. (2009) Metodolohiya ta rezul'taty otsinky tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv roboty mahistral'nykh lokomotyviv pry pasazhurs'kykh perevezennyakh. *Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koyi derzhavnoyi akademiyi zaliznychnoho transportu*. № 102, pp. 191-201.

14. Yer'omina M. O. (2009) Udoskonalennya metodu rozrakhunku ekspluatatsiynykh vytrat pasazhurs'kykh zaliznychnykh perevezhen. *Ekonomika: problemy teorii i ta praktyky*. m. VI, № 254. pp. 1401-1405.

15. Kalabukhin YU.YE. et al. (2013) Urakhuvannya sotsial'noyi skladovoyi efektyvnosti tekhniko-orhanizatsiynykh zakhodiv pasazhurs'kykh perevezhen' zaliznychnoho transportu. *Efektyvna ekonomika*. №3. pp. 27-35.

16. Barash Yu. S. (2011) Teoretychno-metodychnyy pidkhd do vyznachennya konkurentospromozhnosti posluh, shcho nadayut'sya pasazhurs'kymy vydamy transportu. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana, Problemi ekonomiki transportu*. № 38, pp. 233-237.

17. Matushevych O. O. (2013) Zasoby pidvyshchennya efektyvnosti zaliznychnykh pasazhurs'kykh perevezhen' ta metody yikh realizatsiyi. *Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu. Ser. "Ekonomika i upravlinnya"*. № 23-24. p. 142-149.

18. Matushevich A. A. (2013) Cost technical and economic indexes and efficiency of rail passengers transportation. *Problemi ekonomiki transportu*. № 5. pp. 72-79. <https://doi.org/10.15802/pte.v0i5.19477>

19. Donchenko A. V. et al. (2008) Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannya pasazhurs'kykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenny termin, z metoyu yoho prodovzhennya CL-07. *UkrNDIV*. Kyiv. p. 63.

20. Gevorkyan E. S. (2015) Novi materialy ta yikh oderzhannya: pidruchnyk. Kharkov: Disa+.344 p.

21. Kalabukhin YU.YE. (2010) Udoskonalennya metodolohiyi vyznachennya tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv funktsionuvannya tyahovoho rukhomoho skladu z urakhuvannyam zhyttyevoho tsyклу: dys. .... d-ra tekhnichnykh nauk: 05.22.07. Kharkov: UkrDAZT. 420 p.

22. Kalabukhin YU.YE. (2011) Rezul'taty doslidzhennya vplyvu ekspluatatsiynykh faktoriv na tyahovo-enerhetychni pokaznyky vykorystannya teplovoznoyi tyahy u vantazhnomu rusi. *Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koyi derzhavnoyi akademiyi zaliznychnoho transportu*. № 122. pp. 66-75.

23. Kalabukhin YU.YE. (2009) Metodolohiya ta rezul'taty otsinky tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv roboty mahistral'noho lokomotyva pry peremishchenni vantazhnoho poyzdu. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V. Dallya*. №2(132). pp. 157-163.

Рецензент: доктор технічних наук, професор кафедри "Вагони та вагонне господарство" Л. А. Мурадян, Український державний університет науки і технологій, Україна.

**Автор:** МАРТИНОВ Ігор Ернстович  
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії вагонів та якості продукції  
Український державний університет залізничного транспорту  
E-mail - [martinov.hiit@gmail.com](mailto:martinov.hiit@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

**Автор:** КАЛАБУХІН Юрій Євгенович  
доктор технічних наук, професор кафедри маркетингу, комерційної діяльності та економічної теорії  
Український державний університет залізничного транспорту  
E-mail - [kalabuxin-fet@ukr.net](mailto:kalabuxin-fet@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3693-7607>

**Автор:** МАРТИНОВ Станіслав Ігорович  
аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу  
Український державний університет залізничного транспорту  
E-mail - [st.mrtmv@gmail.com](mailto:st.mrtmv@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-6053>

**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](mailto:alena.hiit.vagons@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

**Автор:** ОСТАПЕНКО Ярослав Валерійович  
аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції  
Український державний університет залізничного транспорту  
E-mail - [Ziarzi@gmail.com](mailto:Ziarzi@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4341-0831>

### TO THE ISSUE OF MODERNIZATION OF PASSENGER CAR BODIES

I. Martynov, Yu. Kalabukhin, A. Trufanova, S. Martynov, I. Ostapenko

Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

*Passenger cars owned by JSC "Ukrzaliznytsia" have practically exhausted their resource. Improving the efficiency of railways requires the use of new innovative technical solutions.*

*The article analyzes the technical condition of the bodies of passenger cars that have worked out their resource. A total of 540 wagons of different years of construction were inspected.*

*In the course of the analysis, the results of inspections of the metal structures of cars were divided into five conditional groups depending on the service life. At the same time, the nominal values of the thicknesses of the structural elements of the car and the actual values were compared.*

*The authors determined the intensity of the increase in wear of various elements of the body. It has been established that the lower trim, the roof slope and the lower part of the side wall have the greatest wear.*

*It is proposed to use aluminum alloys for the modernization of passenger car bodies. The advantage of such a technical solution is an increase in the corrosion resistance of the body. This significantly increases the durability of the wagons and reduces the tare weight of the car.*

*The reduction of tare allows to reduce the specific resistance to train movement, reduce fuel and electricity costs for train traction, and the operating costs of railway transport for energy consumption.*

*To reduce operating costs using the basic provisions of the locomotive traction theory, calculations were made to determine the energy consumption for the movement of a passenger train according to the profile conditions of the real section of the regional branch of the Southern Railway by diesel and electric locomotive traction with the base variant and the variant of passenger cars with reduced tare weight) in composition of the train. In the calculations, it was considered that for the movement of passenger trains, a diesel locomotive of the TEP70 series is used for diesel traction, and for an AC electric locomotive of the ChS4 series.*

*It has been established that the annual savings in energy costs for the traction of passenger trains when using passenger cars with a reduced tare weight is about 1 million UAH.*

**Keywords:** *passenger car, body, resource, wear, modernization, economic effect.*