

І. Е. Мартинов

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +380577301036, E-mail: martinov.hiit@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

А. В. Труфанова

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +380577301035, E-mail: trufanova@kart.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

С. І. Мартинов

Український державний університет залізничного транспорту
пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: +380503039850, E-mail: st.mrtnv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-7802>

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КУЗОВІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

В статті розглянуті конструктивні особливості кузовів пасажирських вагонів, виготовлених у різних країнах світу. Так, у США для сполучення використовуються пасажирські вагони з негофрованими боковими стінами, виготовленими із нержавіючої сталі. У міжміському сполученні отримали широке розповсюдження вагони з вигнутими бічними стінами, де підвіконний пояс обшивки є гофрованим.

Канадська машинобудівна компанія Bombardier Transportation виготовляє пасажирські вагони, виконані з кузовом з нержавіючої сталі та з негофрованою обшивкою бічних стін. У Франції експлуатуються пасажирські вагони серії Corail з негофрованою обшивкою бічних стін. Французькою машинобудівною компанією Alstom запатентовано кузов пасажирського вагона з нержавіючої сталі із зовнішньою негофрованою обшивкою, підкріпленою з внутрішньої сторони кузова гофрованим листом. У Німеччині, Австрії та Швейцарії використовуються вагони з плоскими бічними стінами з негофрованою обшивкою. Німецькі виробники заводу Амендорф багато років постачали жорсткі купейні вагони в країни СНД. Кузови цих пасажирських вагонів виконані з гофрованою обшивкою бічних стін із циліндричними гофрами.

Як правило, підкріплення негофрованої обшивки здійснюється гнутими підкріплюючими елементами та гофрованою обшивкою. Виробники пасажирських вагонів (Bombardier Transportation, Alstom та ін.) у конструкції кузовів несамохідних вагонів переважно використовують леговані та нержавіючі сталі.

© Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Мартинов С. І., 2025

Аналіз світового досвіду проектування кузовів пасажирських вагонів показав, що найчастіше використовуються цільнонесучі кузова, виготовлені з конструкційних сталей. При цьому спостерігається широке використання конструкцій із негофрованою зовнішньою обшивкою. Дане конструктивне рішення дозволяє спростити технологію нанесення лакофарбових покриттів, підвищити стійкість до корозії кузова і поліпшити аеродинамічні показники вагона.

Сучасні виробники пасажирського рухомого складу схильні до використання стрінгерних варіантів підкріплення обшивки. Перспективним напрямом полегшення несучої конструкції кузова є застосування підкріплюючих елементів з перфорацією.

Ключові слова: пасажирський вагон, рама, кузов, бокова стіна, алюмінієвий сплав, нержавіюча сталь, підкріплюючі елементи.

Вступ. Процес вступу України до Європейської спільноти розпочався на межі ХХ-ХХІ сторіччя з економічного і політико-правового зближення України з європейськими міждержавними структурами. Стосовно залізничного транспорту одним з найважливіших завдань для спрощення інтеграції залізниць України до залізниць Європейського Союзу, є капітальна модернізація та оновлення парку пасажирських вагонів ПАТ «Укрзалізниця».

Парк пасажирських вагонів, які експлуатаувалися на залізницях СРСР, складався з вагонів побудови Угорщини, Польщі, Німеччини та Росії. Вагони перших двох виробників вичерпали свій ресурс ще наприкінці 80-х років ХХ сторіччя та виключені з експлуатації. Відповідно переважна більшість парку пасажирських вагонів, який дістався у спадщину Україні від СРСР в 1991 році, була збудована у 80-90 роки минулого сторіччя на вагонобудівних заводах СРСР та Німеччини. Технічний стан таких вагонів вкрай незадовільний, рівень зношеності у переважній більшості вагонів перевищує 90%. Числені ремонти та модернізації не забезпечують як необхідного рівня безпеки руху, так і комфортних умов для перевезення пасажирів.

В умовах військового стану постачання нових вагонів скоротилося до мінімуму. Єдиний вітчизняний виробник ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» має досить обмежені виробничі потужності та не може терміново ліквідувати дефіцит сучасних вагонів. Тому старіння пасажирського вагонного парку продовжується швидкими темпами та через відсутність фінансування не компенсується надходженнями нових вагонів.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз особливостей конструкцій кузовів пасажирських вагонів, які експлуатуються у різних країнах світу.

Матеріали дослідження. Наприкінці 60-х років ХХ сторіччя у США було розроблено пасажирський вагон Comet локомотивної тяги для міжміського сполучення. До 2004 р. було випущено п'ять серій вагонів цього типу. Вагони Comet I – Comet IV мають кузов з негофрованою обшивкою, виготовлений із алюмінієвого сплаву. Несуча система кузовів виконана із сендвіч-панелей, що складаються із зовнішніх алюмінієвих листів, між якими розташовуються різні матеріали, включаючи фанеру, полімерні піни або алюмінієві стільники [1]. Вагони Comet V, побудовані у 1999-2004 рр., відрізняються від попередніх серій кузовом, виконаним з нержавіючої сталі.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

На підставі дизайну вагона Comet II у період з 1988 по 1990 р. були випущені вагони Horizon з негофрованою обшивкою бічних стін (рис. 1), які й сьогодні перебувають у експлуатації.



Рис. 1. Пасажирський вагон міжміського сполучення Horizon (Bombardier Transportation)

Широкого поширення набули двоповерхові вагони (Hi-Level, Superliner I, Superliner II (1991-1996 pp.) [2]. У негофрованій обшивці бічної стіни на рівні другого поверху вагона Superliner (рис. 2) як поздовжніх так і поперечних підкріплювальних елементів використані коритні профілі, що характерно для більшості кузовів вагонів американського виробництва з негофрованим кузовом, виконаним з нержавіючої сталі.



Рис. 2. Несуча конструкція кузова вагона Superliner

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

У міському сполученні США використовуються вагони серій 2600, 3200 та інші, негофровані бокові стіни яких виконані з нержавіючої сталі. Підвіконний пояс бокової стіни має початкову загнутість і може бути виконаний гофрованим. Як підкріплювальні елементи бічної стіни також застосовуються коритні профілі (рис. 3) [3].



Рис. 3. Панель бічної стіни кузова вагона у стенді зварювання

У міжміському сполученні США використовуються вагони Amfleet (випущені в 1973-1983 рр.) з кузовом із нержавіючої сталі. Бічні стіни кузова мають початкову загнутість та виконані у надвіконному та підвіконному поясі з гофрованою обшивкою (рис. 4, а).

Одноповерхові спальні вагони Viewliner (Viewliner I (1994 р.), Viewliner II (2012 р.) (рис. 4, б) виконані з вигнутими бічними стінами, причому підвіконний пояс обшивки є гофрованим.



Рис. 4. Пасажирські вагони США

а) - вагон для міжміського сполучення Amfleet (Budd); б) - спальний вагон Viewliner II (CAF)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

На бічній стіні розташовується два пояси вікон (верхній пояс призначений для пасажирів верхніх спальних полиць). Вагон Viewliner блочно-модульного виконання, у зв'язку з цим його характерною рисою є наявність у бічній стіні люка, що знімається.

Канадська машинобудівна компанія Bombardier Transportation в галузі виробництва залізничного рухомого складу сьогодні реалізує свої проекти в багатьох країнах світу, серед яких Бельгія, Китай, Узбекистан, де виготовляються сучасні несамохідні виконані з кузовом з нержавіючої сталі та з негофрованою обшивкою бічних стін (рис. 5, а, б) [4].



а)



б)

Рис. 5. Пасажирські вагони Bombardier Transportation

а) - вагон моделі P11 з місцями для сидіння (Бельгія); б) - спальний вагон (Китай)

У Японії поїзди далекого прямування поступово витісняються в міру поширення високошвидкісної мережі Shinkansen. Пасажирський одноповерховий спальний вагон моделі ORoNe 25 901, що перебував в експлуатації до 2008 року (рис. 6), має вигнуті бічні стіни кузова з негофрованою обшивкою [5].



Рис. 6. Пасажирський спальний вагон моделі ORoNe 25 901 (Nippon Sharyo)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

У Франції в період з 1975 по 1989 були введені в експлуатацію пасажирські вагони серії Corail з негофрованою обшивкою бічних стін. На базі вагонів сімейства Corail створено пасажирські вагони TéoZ, введені в експлуатацію з 2003 по 2006 (рис. 7). Дизайн французького вагона Corail було взято за основу також португальськими та румунськими виробниками рухомого складу.

Французькою машинобудівною компанією Alstom запатентовано кузов пасажирського вагона з нержавіючої сталі із зовнішньою негофрованою обшивкою, підкріпленою з внутрішньої сторони кузова гофрованим листом [6].



Рис. 7. Пассажирский вагон серии Corail (Alstom)

В експлуатації також можна зустріти пасажирські вагони виробництва Alstom з негофрованими вигнутими бічними стінами із застосуванням у несучій конструкції перфорованих балок (рис. 8) [7].



а)



б)

Рис. 8. Кузов пасажирського вагона з елементами конструкції перфорованого перерізу (Alstom)

а) - загальний вигляд кузова вагона; б) - вид кузова зсередини

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

У швидкісному сполученні федеральної залізниці Німеччини з 1954 року використовувалися пасажирські вагони UIC-X (рис. 9, а), стандартизовані Міжнародним союзом залізниць (UIC) [8]. Вагони аналогічної конструкції також використовувалися Австрійською федеральною залізницею (ÖBB) з 1957 року та з 1966 року Швейцарською федеральною залізницею (SBB). Вагон UIC-X мав плоскі бічні стіни з негофрованою обшивкою. На його основі були розроблені серії пасажирських вагонів, що відрізняються один від одного в основному комфортабельністю та конструкцією даху (рис. 9, б). Пасажирські вагони стандарту UIC різних типів експлуатуються на залізницях Італії, Франції, Бельгії та інших європейських країн.

Пасажирські вагони далекого прямування виробництва Німеччини (рис. 10, а) у другій половині XX століття постачалися на вітчизняні залізниці [9, 10]. Кузови пасажирських вагонів виробництва Німеччини (завод Амендорф) виконані з гофрованою обшивкою бічних стін з циліндричними гофрами (виключення складають вагони габариту РІЦ моделі ВЛАБ-200, виконані з негофрованою обшивкою бічних стін, (рис. 10, б). Як правило, підкріплення негофрованої обшивки здійснюється гнутими підкріплювальними елементами.



а)



б)

**Рис. 9. Пасажирські купейні вагони Німеччини
розробки 60-70-х років**

а) - вагон UIC-X; б) - вагон моделі AVMZ



а)



б)

Рис. 10. Пасажирські купейні вагони Німеччини
а) - жорсткий купейний вагон; б) - спальний вагон РІЦ ВЛАБ-200

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Характерною особливістю кузовів з гофрованою обшивкою бічних стін виробництва Німеччини є наявність двох гофрів на міжвіконному та підвіконному поясі обшивки (рис. 10, а).

Ще однією важливою особливістю купейних вагонів виробництва Німеччини є відсутність хребтової балки в середній частині рами між шворневими балками (рис. 11).

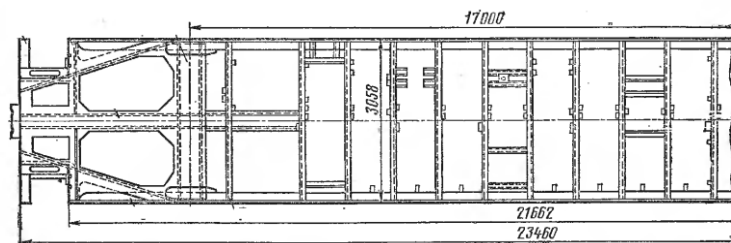


Рис. 11. Рама кузова пасажирського вагона моделі 47 виробництва Німеччини

Рама жорсткого вагона некупейного типу без хребтової балки складається з двох кінцевих балок, двох шворневих балок, проміжних балок, двох поздовжніх балок, які одночасно служать нижньою обв'язкою бічних стін кузова, двох коротких хребтових балок та системи розкосів для передачі ударів. Всі зазначені елементи об'єднані між собою верхнім та нижнім металевими листами товщиною 10 мм. Оскільки нижні обв'язки бокових стін у даній конструкції завантажені більше, ніж у вагонів з наскрізною хребтовою балкою, вони мають збільшений поперечний перетин.

Такі вагони мали прямокутний поперечний переріз оболонки із закругленими кутами. Металева обшивка кузова, підкріплена поздовжніми (стрінгерами) та поперечними (шпангоутами) елементами жорсткості виступала основним несучим елементом. Як поздовжні елементи жорсткості стали використовувати гофри, що дозволило зменшити обсяг зварювальних робіт і короблення обшивки. Застосування гофрів та надалі використання низьколегованої сталі (09Г2Д, 10ХНДП) дозволило зменшити товщину обшивки.



Рис. 12. Пасажирський вагон моделі ЦМВО-66

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Так, у кузові вагона типу ЦМВО-66 бічні стіни з вуглецевої сталі мали товщину гофрованої обшивки 2,5 мм, за винятком надвіконного поясу обшивки. У надвіконному поясі, торцевих стінах та середній частині даху товщина обшивки становила 15 мм. Негофрована обшивка консольних частин рами – 3 мм. Обшивка схилів даху та середньої частини рами була реалізована завтовшки 2 мм.

Рама кузова вагона виготовлялася з наскрізною хребтовою балкою [11], двома шворневими, двома кінцевими і трьома поперечними балками, є також допоміжні балки для кріплення обладнання (рис. 13).

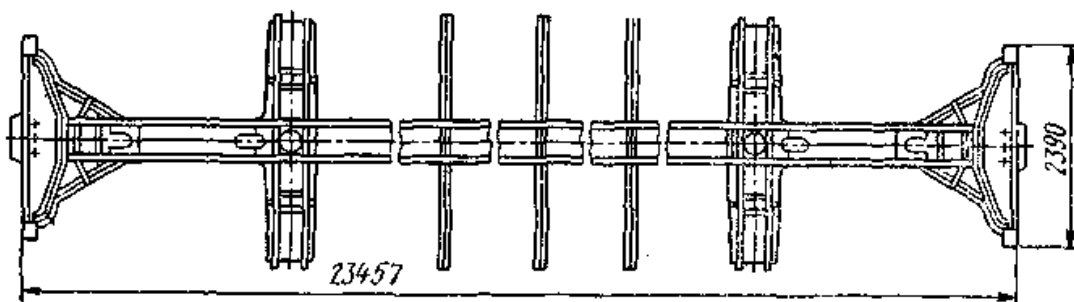


Рис. 13. Рама пасажирського вагона моделі вагона типу ЦМВО-66

Хребтова балка виконана з двох паралельно розташованих швелерів № 30, які зварені по довжині встик і пов'язані між собою діафрагмами жорсткості, виливками передніх і задніх упорів і ударними розетками автозчіпних пристроїв. Між швелерами хребтових балок розташовані надп'ятники.

Настил підлоги в середній частині виконаний гофрованим. Торцеві стіни також виконані з гофрованою обшивкою. Обшивка даху в середній частині гофрована, з поздовжнім розташування гофрів. У скатах даху використана негофрована обшивка.

Необхідно зазначити, що рама пасажирського вагона без хребтової балки у порівнянні з вагонами із наскрізною хребтовою балкою більш економічна, має меншу масу та є менш жорсткою. Внаслідок цього вона може краще сприймати дію експлуатаційних навантажень.

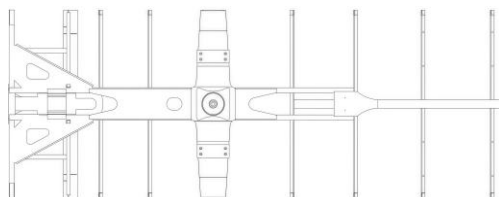
Але, незалежно від виробника, з урахуванням багаторічного терміну експлуатації технічний стан пасажирських вагонів власності ПАТ «Укрзалізниця» є вкрай незадовільним [12].

Українським виробником ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» був розроблений модельний ряд пасажирських вагонів для швидкісних перевезень [13]. Обшивка кузова виконана з листового прокату із конструкційної і нержавіючої сталей. Бокові стіни гофровані (рис. 14, а) [14].

Вагон має рамну конструкцію з хребтовою балкою та додатковим посиленням рами по всьому її периметру (рис. 14, б).



а)



б)

Рис. 14. Вагон пасажирський купейний мод. 61-779

а) - загальний вигляд вагона; б) - рама вагона

У несучих елементах раціонально поєднані традиційні конструкційні та низьколеговані сталі, які використовуються у вагонобудуванні.

Кузов такого вагона при низькій вартості конструкційних матеріалів при відповідній його обробці (піскоструминне очищення, ґрунтовка внутрішніх і зовнішніх поверхонь, обробка внутрішніх поверхонь антикорозійними мастиками, зовнішніх – багат шаровим фарбуванням сучасними системами лакофарбового покриття) забезпечує призначений термін служби вагона до 41 року [15].

Продовженням модельного ряду пасажирських вагонів виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» є пасажирські вагони серії 61-778 [16]. В конструкції цього вагона знайшли своє відображення усі удосконалення конструкції вагонів моделі 61-779, сучасні підходи до конструювання, нові та удосконалені системи, обладнання, тощо. Стосовно металоконструкцій необхідно зазначити, що обшивка кузова виконана з гладкого металевого листа [13].

Висновки:

1. Пасажирські вагони закордонного виробництва переважно мають суцільнометалевий кузов несучої конструкції, причому найбільш поширені кузови з негофрованою зовнішньою обшивкою бічних стін.

2. Проведений огляд існуючих несучих конструкцій бічних стін кузовів несамохідних пасажирських вагонів зарубіжного виробництва показав тенденцію застосування конструкцій з негофрованою зовнішньою обшивкою. Це обумовлено вимогами естетичного зовнішнього вигляду вагонів, спрощення технології нанесення лакофарбових покриттів, збільшення корозійної стійкості кузова та покращення аеродинамічних показників вагона. При цьому аналіз конструктивних рішень, що забезпечують стійкість негофрованої плоскої обшивки, показав, що сучасні виробники рухомого складу схильні до застосування стрінгерних варіантів підкріплення.

3. Застосування полегшених профілів, зокрема перфорованих, що підкріплюють негофровану обшивку кузова пасажирського вагона, є одним з перспективних напрямків в області полегшення несучої конструкції кузова вагона. Оскільки вагонні конструкції експлуатуються при інтенсивному впливі навантаження, що змінюються в часі, в їх несучих конструкціях застосовуються круглі і довгасті типи перфорації.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

4. Провідні виробники пасажирських вагонів (Bombardier Transportation, Alstom та ін.) у конструкції кузовів несамохідних вагонів переважно використовують леговані та нержавіючі сталі.

5. Застосування полегшених несучих конструкцій бічних стін пасажирських вагонів з гофрованою зовнішньою обшивкою свідчить про необхідність розробки технічних рішень, що забезпечують міцність кузова вагона, жорсткість, втомну довговічність та стійкість елементів конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kremer K. Metal Foams for Improved Crash Energy Absorption in Passenger Equipment / K. Kremer; Final Report for High-Speed Rail IDEA Project 34. Newark, 2004.
2. Hopkins H. W. The American railroad passenger car / H. W. Hopkins. Baltimore, Maryland: University Press, 1978. 704 с.
3. Technical Proposal for MBTA RFP No. CAP 27-10 New Orange and Red Line Vehicles, 2014. 319 с.
4. Bombardier: Coaches [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/intercitytrains/coaches.html>
5. Endo T., Korekoda M., Suzuki K. Development of Advanced Commuter Train for Tokyo Area / Technical Development and Research Department East Japan Railway Company, Tokyo. 9 p.
6. Пат. US 5388529 A. Rail vehicle body made of stainless steel / Philippe Tieberghien, Fernand Ramez, Max Lhomme, Michel Berquet; заявник та патентотримувач Alstom Transport SA. № 70679; заявл. 02.06.93; опубл. 14.02.95.
7. Jurdeczka U. Concept for completeness checking of joined structures exemplified on rail vehicle car body shells. Journal of Sensors and Sensor Systems. 2017. Vol. 6. Is. 1. pp. 53–63.
8. UIC 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation in railway vehicle / International Union of Railways, 1994. 81 p.
9. Лобойко Л. М. Проблемы и перспективы пассажирского вагоностроения в Украине. Залізничний транспорт України. 2006. № 3. С. 3–9.
10. Лобойко Л. М., Бараш Ю. С. Стан вагонного парку та вагоноремонтної бази в Україні. Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». 2007. Вип. 19. С. 176–182.
11. Пасажирський рухомий склад магістральних залізничних доріг України. Навч. посібник для навч. закладів залізничного транспорту (переклад р.м) / А. Ф. Агулов, А. Б. Бабанин, А. А. Каграманян, И. Э. Мартынов, В. А. Морозов, А. Г. Теслик. Харьков, ТО «Ексклюзив», 2013. 731 с.
12. 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. 2018. № 45 (1321). С. 41–46.
13. Федюшин Ю. М., Лобойко Л. М., Пшінько О. М. Розробка, створення, освоєння виробництва та впровадження сімейства моделей вітчизняних сучасних пасажирських вагонів для швидкісних перевезень. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. Вип. 7. С. 5–24.
14. Мямлин С. В., Шкабров О. А., Ягода П. А., Дедаева Т. И. Зниження ваги металоконструкцій пасажирських вагонів для швидкісних перевезень (переклад р.м). Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. Вип. 13. С. 118–120.
15. Приходько В. И., Мямлин С. В., Шкабров О. А., Ягода П. А. Удосконалення конструкції кузовів пасажирських вагонів для швидкісних перевезень (переклад р.м). Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. Вип. 14. С. 152–156.
16. Донченко А. В., Сафронов О. М. Становлення ДП «УкрНДІВ» як флагмана вітчизняної науки щодо розвитку вітчизняного залізничного транспорту та міського колійного транспорту. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», 2007. Вип. 15. С. 5–102.

I. E. Martynov

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +380577301036, E-mail: martinov.hiit@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

A. V. Trufanova

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +380577301035, E-mail: trufanova@kart.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1702-1054>

S. I. Martynov

Ukrainian State University of Railway Transport
Feiirbakha Sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
tel: +380503039850, E-mail: st.mrtnv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-7802>

ANALYSIS OF DESIGN FEATURES OF PASSENGER CAR BODIES

The article examines the design features of passenger car bodies manufactured in different countries around the world. In the USA, passenger cars with non-corrugated stainless-steel side walls are used for urban services. In intercity services, cars with curved side walls, where the under-window belt of the sheathing is corrugated, have become widespread.

The Canadian engineering company Bombardier Transportation manufactures passenger cars with stainless-steel bodies and non-corrugated side-wall sheathing.

In France, Corail-series passenger cars with non-corrugated side-wall sheathing are in operation. The French engineering company Alstom has patented a passenger car body made of stainless steel with an external non-corrugated sheathing reinforced on the inner side of the body by a corrugated sheet.

In Germany, Austria and Switzerland, cars with flat side walls and non-corrugated sheathing are used. German manufacturers from the Ammendorf plant supplied rigid compartment-type cars to CIS countries for many years. The bodies of these passenger cars feature corrugated side-wall sheathing with cylindrical corrugations.

As a rule, reinforcement of non-corrugated sheathing is carried out using bent stiffening elements and corrugated sheathing. Manufacturers of passenger cars (Bombardier Transportation, Alstom, etc.) mainly use alloyed and stainless steels in the structures of non-self-propelled car bodies.

Analysis of the global experience in designing passenger car bodies has shown that all-steel load-bearing bodies made of structural steels are most commonly used. At the same time, there is widespread use of designs with non-corrugated external sheathing. This design solution makes it possible to simplify the technology of applying paint coatings, increase the corrosion resistance of the car body, and improve the aerodynamic performance of the vehicle.

Modern manufacturers of passenger rolling stock tend to use stringer-type reinforcement of the sheathing. A promising direction in reducing the weight of car-body load-bearing structures is the use of perforated reinforcing elements.

Key words: *passenger car, frame, body, side wall, aluminum alloys, stainless steel, reinforcing elements.*

REFERENCES

1. Kremer, K. (2004). *Metal foams for improved crash energy absorption in passenger equipment*. Final Report for High-Speed Rail IDEA Project 34. Newark [in English].
2. Hopkins, H. W. (1978). *The American railroad passenger car*. Baltimore, Maryland: University Press, 704 p. [in English].
3. *Technical proposal for MBTA RFP No. CAP 27-10 New Orange and Red Line Vehicles*. (2014). 319 p.
4. Bombardier. Coaches. Retrieved from: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/intercitytrains/coaches.html>
5. Endo, T., Korekoda, M., & Suzuki, K. Development of advanced commuter train for Tokyo area / Technical Development and Research Department, East Japan Railway Company. Tokyo, 9 p. [in English].
6. Rail vehicle body made of stainless steel: Pat. US 5388529 A / Philippe Tieberghien, Fernand Ramez, Max Lhommet, Michel Berquet; applicant and patent holder Alstom Transport SA. No. 70679; appl. 02.06.1993; publ. 14.02.1995.
7. Jurdeczka, U. (2017). Concept for completeness checking of joined structures exemplified on rail vehicle carbody shells. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 6(1), 53–63 [in English].
8. UIC 513 R. (1994). *Guidelines for evaluating passenger comfort in relation in railway vehicle*. International Union of Railways, 81 p. [in English].
9. Loboyko, L. M. (2006). Problemy i perspektyvy pasazhirskogo vagonostroyeniya v Ukraine. [Problems and prospects of passenger car construction in Ukraine]. *Zaliznychnyy transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 3, 3–9. [in Ukrainian].
10. Loboyko, L. M., & Barash, Yu. S. (2007). Stan vahonnoho parku ta vahonoremontnoi bazy v Ukraini [The state of the car fleet and car repair base in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana «Problemy ekonomiky transportu»*, 19, 176–182 [in Ukrainian].
11. Agulov, F., Babanin, A. B., Kagramanyan, A. A., Martynov, I. E., Morozov, V. A., & Teslik, A. G. (2013). *Passazhirskiy podvizhnoy sostav magistralnykh zheleznykh dorog Ukrainy* [Passenger rolling stock of the main railways of Ukraine]. Kharkiv: TO «Yeksklyuziv», 731 p.
12. Martynov, I. E., Trufanova, A. V., Pavlenko, Yu. S., & Serhiyenko, M. O. (2018). Analiz tekhnichnoho stanu kuzoviv pasazhyrskykh vahoniv [Analysis of the technical condition of passenger car bodies]. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. Transportne mashynobuduvannia*, 45 (1321), 41–46 [in Ukrainian].
13. Fedyushyn, Yu. M., Loboyko, L. M., Pshinko, O. M., et al. (2005). Rozrobka, stvorennia, osvoinnia vyrobnytstva ta vprovadzhennia simeistva modelei vitchyznianskykh suchasnykh pasazhyrskykh vahoniv dlia shvydkisnykh perevezen [Development, creation, mastering of production and introduction of a family of domestic modern passenger cars for high-speed transportation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 5, 5–24 [in Ukrainian].
14. Myamlin, S. V., Yahoda, P. A., Dedayeva, T. A., & Shkabrov, O. (2006). Snizheniye vesa metallokonstruktsii passazhirskikh vagonov dlya skorostnykh perevozok [Reducing the weight of metal structures of passenger cars for high-speed transportation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 13, 118–120 [in Ukrainian].
15. Prykhodko, V. Y., Myamlyn, S. V., Shkabrov, O. A., & Yahoda, P. A. (2007). Sovershenstvovaniye konstruktsii kuzovov passazhirskikh vagonov dlya skorostnykh perevozok [Improvement of the design of passenger car bodies for high-speed transportation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 14, 152–156.
16. Donchenko, A. V., & Safronov, O. M. (2007). Formation of SE «UkrNDIV» as a flagship of domestic science in the development of national railway transport and urban rail transport. Collection of Scientific Works of the State Enterprise «Ukrainian Research Institute of Car Building», (15), 5–102.