

**І.Е. Мартинов, А.В. Труфанова, В.О. Шовкун, О.М. Литовченко,
М.В. Дмитренко, О.О. Балашов**

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ КУЗОВІВ НАПІВВАГОНІВ

Стаття присвячена дослідженню та аналізу перспективних напрямків розвитку конструкцій кузовів напіввагонів. Автори систематизують напрямки виникнення та удосконалення конструкцій напіввагонів у різних країнах світу, розглядають їх переваги та недоліки. Особлива увага приділяється новітнім технологіям та матеріалам, що можуть покращити ефективність використання та надійність конструкцій кузовів напіввагонів.

Ключові слова: напіввагон, кузов, хребтова балка, шворнева балка, бокові стіни, кришка люка, надійність.

Постановка проблеми

Залізниця України вже багато років забезпечують переважну більшість вантажних перевезень сировини та продукції металургійної промисловості. З 2000 по 2014 р. спостерігалася тенденція зростання обсягу вантажних перевезень, яка призупинилася у 2014–2016 рр. Це було викликано низкою як об'єктивних, так і суб'єктивних причин, зокрема погіршенням фінансово-економічного стану, зміною структури вантажів, що перевозяться. На цей же час припало інтенсивне старіння парку вантажних вагонів, що призвело до необхідності виключити із парку значну кількість рухомого складу. Особливо це стосувалося найбільш дефіцитного рухомого складу – універсальних напіввагонів, середній вік переважної більшості яких суттєво перевищував нормативний термін служби.

Для збереження свого становища на ринку вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця» необхідно не лише проведення організаційних реформ всієї транспортної інфраструктури, але й закупівля інноваційного рухомого складу. У вагонах нового покоління необхідно використовувати технічні рішення, які дозволять збільшити не лише надійність та експлуатаційну готовність рухомого складу, а й сприятимуть підвищенню ефективності процесу перевезень. Оскільки напіввагони є найбільш масовою частиною парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця», саме вибір раціональних варіантів конструкції кузова напіввагона дасть можливість зменшити як собівартість їх виробництва, так і експлуатаційні витрати залізниць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням аналізу історії розвитку конструкцій напіввагонів присвячена досить обмежена кількість

досліджень. Вперше детальний аналіз особливостей конструкцій всіх типів вантажних вагонів XIX сторіччя (які тоді мали назву «товарні») викладено у виданні [1]. Автор описує найбільш вдалі технічні рішення, які отримали подальший розвиток у конструкціях напіввагонів вже у другій половині XX століття. Але проведений аналіз обмежений 1940 роком. У підручнику [2] викладені конструктивні особливості нетягового рухомого складу, побудованого у 50–70-ті роки минулого століття. Проте автори не ставили перед собою завдання дослідження переваг та недоліків тих або інших технічних рішень.

Найбільш повно історію розвитку конструкцій напіввагонів розглянуто у книзі [3]. Професор Л. А. Шадур розглядає конструкцію кузовів напіввагонів у різні роки, але не виконано порівняльний аналіз переваг тих або інших рішень.

У статті [4] досліджено особливості вагонобудування в Україні у першій половині XX ст. Показано, що Україна є батьківщиною нової галузі науки – науки про вагони.

Стаття [5] присвячена характеристиці розвитку вантажного вагонного парку на теренах України у 1875–1917 роках, зокрема на Одеській залізниці. Аналізуються склад вагонного парку, особливості будови вантажних вагонів, збільшення їх вантажопідйомності. У дослідженні [6] виконано аналіз результатів спроби оновлення вантажного рухомого складу в умовах політичної нестабільності та глибокої економічної кризи 1918–1919 років. Визначено, що основна увага була приділена створенню та модернізації двовісних критих вагонів.

А. В. Донченко у роботі [7] визначив основні вимоги до інноваційних вагонів, зокрема і до напіввагонів. Аналіз результатів роботи вітчизняних вагонобудівників при вдосконаленні конструкції кузова напіввагонів викладено у статті [8].

Авторами виконано узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на подальше вдосконалення техніко-економічних показників напіввагонів.

Низка досліджень присвячена удосконаленню окремих конструктивних елементів напіввагонів. Так, у роботі [9] представлена нова конструкція кришки люка напіввагона, яка дозволяє підвищити вантажопідйомність.

China Jinan Railway Vehicles Equipment Co., Ltd. (JRVEC) випускає велику кількість різноманітних моделей напіввагонів, включно з напіввагонами з кузовом з алюмінієвих сплавів. Це дозволяє збільшити вантажопідйомність за рахунок зменшення тари [10, 11].

Створення сучасного напіввагона потребує впровадження науково-технічних рішень щодо покращення аеродинамічних характеристик гондоли, що також важливо [12]. Це зменшить витрати, пов'язані зі зниженням енергоспоживання для тяги поїздів.

Мета статті

Метою цієї роботи є аналіз технічних рішень конструкцій кузовів напіввагонів, як в нашій країні, так і за кордоном, проведення відповідної класифікації та визначення найбільш перспективних напрямків розвитку.

Виклад основного матеріалу

Напіввагон – один із найпоширеніших типів вантажних вагонів у світі, який використовується для перевезення широкої номенклатури вантажів, передусім сипких та навалочних, а також металопрокату. Основною конструктивною особливістю напіввагона є конструкція кузова без даху, що дозволяє спростити завантаження.

Найбільш поширений тип універсального напіввагона має кузов із розвантажувальними люками в підлозі, кришки яких відкриваються, утворюючи похилі площини. Сипкий вантаж самопливом вивантажується по обидві сторони, а при необхідності – в одну сторону від залізничної колії. У закритому положенні кришки утворюють горизонтальну підлогу. Такі конструкції кузовів напіввагонів можуть мати торцеві двері або глухі торцеві стіни.

Існують також спеціалізовані напіввагони з глухим кузовом (без розвантажувальних люків і торцевих дверей). Такі напіввагони розраховані на розвантаження за допомогою вагоноперекладачів.

Поява перших напіввагонів на вітчизняних залізницях датується 1861 роком [1]. Це були вагони для перевезення вугілля без даху, без верхніх об'язувальних брусів бокових стін, двері відкривалися (відкидалися) вниз, що було зручно для завантаження вагона за допомогою тачок (рис. 1).

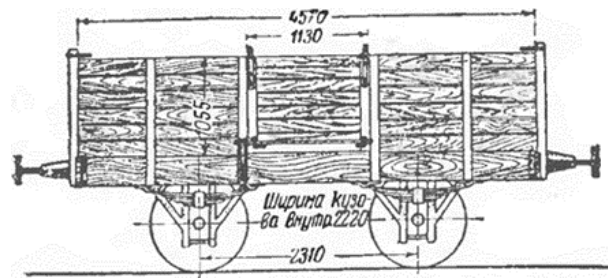


Рис. 1. Вугільний напіввагон [1]

У 1880 р. для перевезення вугілля був створений напіввагон з рамою, в конструкції якої використовувалися швелери.

Вдосконалення конструкції вагонів усіх типів у період 1892–1917 рр. відбувалося шляхом підвищення вантажопідйомності двовісних та початком будівництва чотиривісних вагонів. Двовісні напіввагони, що будувалися в цей період, мали сталеві бокові балки рами кузова та дерев'яну обшивку кузова. Виготовлялися також напіввагони з повністю металевими кузовами.

У 1906 р. було побудовано кілька десятків тривісних напіввагонів вантажопідйомністю 25 т з коефіцієнтом тари 0,36 (рис. 2). Незручність завантаження таких довгих (11780 мм) напіввагонів змусила відмовитися від їх подальшої побудови.

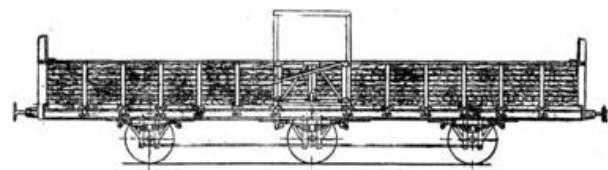


Рис. 2. Тривісний напіввагон [1]

Починаючи з 1906 р., було побудовано декілька тисяч чотиривісних напіввагонів з металевими кузовами системи Фокс-Арбеля (рис. 3). Цей напіввагон є глухим без лобових дверей і кришок розвантажувальних люків. Навантаження і вивантаження виконувалося через верх, а також через дві бокові двері з кожного боку напіввагона.



Рис. 3. Напіввагон системи Фокс-Арбеля [1]

Під час першої світової війни у США були закуплені чотиривісні напіввагони зі сталевим каркасом і дерев'яною обшивкою кузова (рис. 4). Як і напіввагон з суцільнометалевим кузовом, він мав кришки люків в підлозі для розвантаження сипких вантажів, а також торцеві двері, що відкривалися всередину кузова. Вантажопідйомність вагонів дорівнювала 50 т, тара – 20,0–21,5 т.

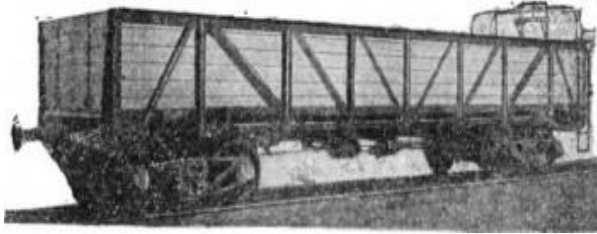


Рис. 4. Напіввагон виробництва США [3]

Після першої світової війни розвиток залізничного транспорту і, зокрема, вагонного парку не відповідав потребам у перевезеннях вантажів, що зростали. Необхідно було різко збільшити у вагонному парку частку напіввагонів з урахуванням і достатнім обґрунтуванням їх типу і параметрів. Було вирішено при проектуванні враховувати технічні умови та конструкції нових типів вагонів США, відкориговані на основі досвіду експлуатації в умовах вітчизняних залізниць. Також вагони повинні були бути чотиривісними з широким застосуванням сталевих литва і штампованих частин, а також електрозварювання.

Чотиривісні напіввагони будувалися з 1928 р. [2]. Каркас бокової стіни цього вагона являв собою ферму зі стояками та розкосами (рис. 5).

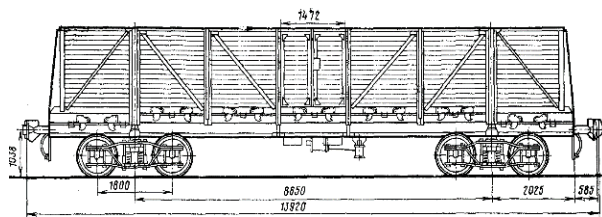


Рис. 5. Чотиривісний напіввагон [2]

Посередині кожної стіни в напіввагонах розміщувалися двостулкові двері, підвішені на петлях до дверних стояків ферми, які відкривалися назовні вагона. Напіввагони Крюківського заводу в бокових стінах дверей не мали, що підвищувало міцність і жорсткість ферми. Згодом такі двері були скасовані не тільки у всіх нових напіввагонах, але навіть заварені на вагонах експлуатаційного парку.

Напіввагони, створені у період 1929–1945 рр., будували і після війни. Їх великою вадою була дерев'яна обшивка стін. Вона часто пошкоджувалася

і навіть спалахувала при завантаженні неповністю охолодженого коксу. Для усунення цього недоліку Крюківський вагонобудівний завод (КВБЗ) у 1949–1950 рр. випустив партію суцільнометалевих напіввагонів з обшивкою стін зі сталевих листів товщиною 5 мм. Щоб забезпечити необхідну жорсткість, обшивка бокових стін мала коритоподібні виштамповки, а обшивка торцевих стін – гофри. З 1979 р. напіввагони будувалися тільки з металевою обшивкою кузова.

Підвищення ефективності вагонів досягалося збільшенням їх вантажопідйомності і особливо погонного навантаження. КВБЗ у 1954 р. розробив проекти шестивісного і восьмивісного напіввагонів вантажопідйомністю, відповідно, 90 і 115–120 т.

Шестивісні напіввагони (рис. 6) КВБЗ почав будувати у 1955 р. Перевагою шестивісного напіввагона, що мав загальну довжину 16,4 м, була можливість здійснювати вивантаження на тогочасних вагоноперекидачах.



Рис. 6. Шестивісний напіввагон [3]

Ці напіввагони відрізнялися конструкцією візків, удосконалених у зв'язку з підвищеним впливом на колію. Саме тоді кришки люків почали обладнувати торсійними механізмами, що значно полегшували їх (кришок) підйом.

У 1961 р. був побудований дослідний зразок шестивісного напіввагона з кузовом з алюмінієвого сплаву АМг6 (рис. 7), що дозволило знизити тару і збільшити його вантажопідйомність на 3 т.



Рис. 7. Шестивісний напіввагон з кузовом, виготовленим із алюмінієвого сплаву [3]

Слід зазначити, що намагання використовувати алюмінієві сплави для виготовлення кузовів вантажних вагонів залишилось нереалізованим. Це стосується як напіввагонів, так і критих універсальних вагонів. Незважаючи на чисельні переваги (зменшення тари, підвищення пружності), головним недоліком була велика вартість самого сплаву, а також трудомісткість зварювальних робіт (звичайне електродугове зварювання у цьому разі використовувати не можна). У 1967 р. будівництво шести-вісних напіввагонів було припинено: більш перспективними були визнані восьмивісні конструкції.

Будівництво восьмивісних напіввагонів (рис. 8) вантажопідйомністю 125 т розпочалося у 1961 р. Вагон мав велике погонне навантаження (8,3 т/м), що дозволило збільшити масу поїзда при незмінній її довжині на 35–40 %.



Рис. 8. Восьмивісний напіввагон [3]

Після 1991 року у зв'язку з різким зменшенням вантажообігу потреба в таких вагонах зникла. Зараз восьмивісні напіввагони не випускаються.

З 90-х по 2000-і роки використовувалися конструкції кузовів 70–80-х років. Так, одним із найбільш розповсюджених був напіввагон моделі 12-753 виробництва КВБЗ. Кузов напіввагона моделі 12-753 (рис. 9) суцільнометалевий. Він складається з рами, двох бокових і двох торцевих стін, підлоги, утвореної чотирнадцятьма розвантажувальними кришками люків, а також двостулкових торцевих дверей. Кінцеві балки рами значно посилені, оскільки на них передбачені посадочні місця для можливого встановлення буферних комплектів, через які передаються значні ударні навантаження.



Рис. 9. Напіввагон моделі 12-753

Нині існує чимало нових конструкцій напіввагонів (як люкових, так і глухондонних), розроблених різними підприємствами.

Чотиривісний універсальний напіввагон моделі 12-9745 (рис. 10) має класичну схему для напіввагонів. Принциповою відмінністю кузова є відсутність гофрів на обшивці бокової стіни, тобто вона є гладкою [13]. Це сприяє повному видаленню сипучих вантажів при розвантаженні.



Рис. 10. Напіввагон моделі 12-9745 [13]

Інакше вирішена проблема повного розвантаження напіввагонів фахівцями ПАТ «КВБЗ». Заводом випускається напіввагон моделі 12-791 з напівциліндричним глухим дном (рис. 11). Кузов виконаний глухим, з округленими поверхнями в кутах з'єднання рами з боковими і торцевими стінами [14].



Рис. 11. Напіввагон моделі 12-791 [14]

Відмінністю напіввагона моделі 12-9904 (рис. 12) є верхня об'язка, яка виконана з труби прямокутного перетину з товщиною стінки 7 мм [15].



Рис. 12. Напіввагон моделі 12-9904 [15]

ПАТ «Дніпровагонмаш» виготовляє напіввагон моделі 12-4106 люкової конструкції (рис. 13). Зазначена модель напіввагона має підвищену жорсткість та міцність завдяки використанню спеціальних профілів для виготовлення верхньої обв'язки, підсиленню торцевих стін третім проміжним поясом та більшої товщини обшивки [16].



Рис. 13. Напіввагон моделі 12-4106 [16]

Напіввагон моделі 12-9046 відноситься до люкових напіввагонів та має класичну компоновку (рис. 14). Торцева стіна напіввагона підсилена двома горизонтальними поясами і чотирма стояками [17]. Для надання додаткової міцності та жорсткості бокова стіна між кутовою та шворневою стойкою підсилена розкосом.



Рис. 14. Напіввагон моделі 12-9046 [17]

Слід зазначити, що принципові технічні рішення конструкцій напіввагонів експлуатаційного парку в основному були розроблені 30–40 років тому і залишилися без суттєвих змін. Це привело до високих витрат на технічне утримання та ремонт вагонів.

Створення та освоєння виробництва рухомого складу нового покоління повинно базуватися на наступних принципах:

- підвищення швидкості доставки та збереження вантажів;
- підвищення транспортної та екологічної безпеки;
- використання для виготовлення вагонів інноваційних матеріалів з покращеними фізико-

механічними властивостями.

Вагони нового покоління повинні мати підвищену надійність, ефективність та зменшені витрати на ремонт та експлуатацію.

За останні роки суттєвий крок у створенні вантажних вагонів нового покоління зробив ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод». При розробці нових вантажних вагонів використовувались новітні конструктивні рішення, ефективні матеріали і комплектувальні з поліпшеними показниками міцності, зносостійкості і надійності, а також сучасні технології зварювання, зміцнення та потокові форми організації виробництва.

Серед інноваційних вагонів насамперед треба назвати вагони моделей 12-7023 (рис. 15) та 12-7039 виробництва ПАТ «КВБЗ» [18, 19].



Рис. 15. Напіввагон моделі 12-7023 [18]

Їх особливістю є оптимізована конструкція кузова, каркас бокових та торцевих стін якого виконаний з гарячекатаних профілів, виготовлених з низьколегованих сталей 10ХСНД, 10ХНДП з класом міцності 375–390 МПа.

Попередні розрахунки та результати дослідної експлуатації свідчать, що зазначені напіввагони мають значні переваги, як порівняти з попередніми моделями. Серед цих переваг:

- можливість збільшення пробігів між капітальними ремонтами до 500 тис. км;
- зменшення експлуатаційних витрат на підтримання вагонів у працездатному стані до 3,5 разів;
- зменшення опору руху поїзда за рахунок використання більш прогресивних підшипників і, як наслідок, скорочення витрат на тягу поїздів до 10 %.

До оригінальних технічних рішень можна віднести конструкцію чотиривісного напіввагона зі знімним дахом. Вагон має дах з двох секцій. У кожній секції є завантажувальні люки. Дах може зніматися, і вагон перетворюється на напіввагон. Проте якщо вагон використовується як критий, то в ньому можна перевозити вантажі, що вимагають захисту від атмосферних опадів або пошкоджень.

Набуває поширення використання труб прямокутного перетину як верхньої обв'язки напіввагонів.

Стояки, які призначені для з'єднання бокової стіни з рамою напіввагона, теж можуть бути виконані з труби прямокутного перетину. Конструктивною особливістю вагона є винесені торцеві стіни.

До нових технічних рішень можна віднести виконання хребтової балки з двох зетів висотою 310 мм і П-подібної балки, звареної з листового металопрокату і привареної до верхніх полиць зетів.

У деяких моделях напіввагонів відсутня хребтова балка в середній частині кузова, що дозволило максимально використовувати міжвізковий простір для збільшення внутрішнього об'єму.

Переважає більшість моделей напіввагонів розрахована на навантаження 23,5 т/вісь. Це моделі виробництва КВБЗ 12-783, 12-753, 12-791, 12-7023; виробництва ПАО «Дніпровагонмаш» 12-4106, 12-4102; напіввагони 12-9745, 12-9911 виробництва Панютинського вагоноремонтного заводу; 12-9791, 12-9790, 12-9973 виробництва ТОВ «Дизельний завод»; 12-9904, 12-9046, 12-592, 12-142, 12-146, 12-9833 та ін.

Водночас активно ведуться дослідно-конструкторські розробки щодо побудови напіввагонів з навантаженням на вісь 25 тон. Переваги вагонів зі збільшеним навантаженням на вісь очевидні, але їх впровадження потребує серйозної перебудови залізничної інфраструктури.

У США проводяться роботи зі створення напіввагонів, елементи яких виготовлені з алюмінієвих сплавів (вагон BethGon II, рис. 16), компанії «FreightCar America» [20].



Рис. 16. Напіввагон BethGon II [20]

Однією з особливостей північноамериканських напіввагонів є використання міжвізкового простору: на рис. 16 представлені поздовжні циліндричні коробки по обидва боки від хребтової балки, які збільшують обсяг кузова та знижують центр ваги вагона.

Ця ж фірма також виготовляє Hybrid Gon, у якого рама та нижня частина кузова сталеві, а бічні та торцеві стіни – з алюмінієвого сплаву.

Для перевезення піску та будівельних матеріалів призначені напіввагони Aggregate [21] того ж виробника (рис. 17). Вони мають зварні борти. Конструкція напіввагона має двері для очищення в чотирьох кутах, закріплені верхні з'єднання та внутрішні нижні листи нахилу на кінцях для полегшення чищення. Кузови можуть бути повністю сталевими або комбінацією сталі та нержавійної сталі.



Рис. 17. Напіввагон Aggregate [21]

Американський виробник TrinityRail пропонує споживачам алюмінієвий напіввагон об'ємом 4402 кубічних фути, оптимізований для потреб транспортування вугілля (рис. 18). Вагон має подвійні поздовжні коробки для збільшення корисного навантаження та низького центру ваги [22]. Сталева рама забезпечує міцність і довговічність, а кузов вагона виготовлений із легкого, стійкого до корозії алюмінію.



Рис. 18. Напіввагон TrinityRail [22]

Висновки

1. Протягом багатьох років зберігається тенденція виготовлення напіввагонів зі збільшеною вантажопідйомністю та, відповідно, збільшеною кількістю осей.
2. Топ-напрямок вважається створення напіввагонів з підвищеним навантаженням на вісь, хоч це вимагає значних вкладень в інфраструктуру.
3. Спроби використання для виготовлення кузовів замість низьколегованих сталей інших конструкційних матеріалів переважно через високу вартість останніх не дали суттєвого результату.
4. Перспективним видається використання північноамериканського досвіду, де у деяких моделях напіввагонів для збільшення об'єму кузова та зниження центру ваги вагона використовується міжвізковий простір. Проте таке технічне рішення ускладнює проведення технічного обслуговування вагонів в експлуатації.

Література

1. Мокришицкий Е. И. История развития вагонного парка железных дорог СССР / Е. И. Мокришицкий. – М.: Транспорт, 1946. – 204 с.
2. Шевченко П. В. Вагони промышленного железнодорожного транспорта / П. В. Шевченко, А. П. Горбенко. –

Київ: Вища школа, 1980. – 223 с.

3. Шаду́р Л. А. Развитие отечественного вагонного парка / Л. А. Шаду́р. – М.: Транспорт, 1988. – 279 с.
4. Устяк Н. В. Розвиток вагонобудування в Україні (20-30 роки XX століття) / Н. В. Устяк // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного ун-ту трансп. Історія науки і техніки. – 2015. – № 7. – С. 124-130.
5. Антонюк Т. С. Історія розвитку вантажного вагонного парку в Україні (1875-1917) / Т. С. Антонюк // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Дослідження з історії техніки. – 2013. – № 18. – С. 4-7.
6. Рубан М. Ю. До історії оновлення парку вантажних вагонів державних залізниць України (1918-1919) / М. Ю. Рубан // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного інституту вагонобудування "Рейковий рухомий склад". – 2021. – № 22. – С. 92-104.
7. Донченко А. В. Оновлення рухомого складу залізниць / А. В. Донченко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2007. – № 15. – С. 75-82.
8. Myamlin S. V. / Design review of gondola car // S. V. Myamlin, I. U. Keбал, S. R. Kolesnykov / Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014. – № 6 (54). – С. 136-143.
9. Myamlin S. V. / New Design of the Hatch Cover to Increase the Carrying Capacity of the Gondola Car // S. V. Myamlin, D. U. Baranovskiy, M. S. Bulakh, I. U. Keбал / Advances in Science and Technology Research Journal. – 2022. – № 16(6), p. 186–191. <https://doi.org/10.12913/22998624/156205>
10. Vijaya R. B. / A review on sandwich composites and their advancements // R. B. Vijaya, C. Elanchezhian, V. M. Manickavasagam, N. R. Surya, R. Sudharshan, G. Pugazhendhi / Mater Today Proc. – 2019. – 16(2). – p. 1146–1151. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.207>.
11. Faidzi M. K. / Geometrical effects of different core designs on metal sandwich panel under static and fatigue condition // M. K. Faidzi, S. Abdullah, M. F. Abdullah, A. H. Azman, S. Singh, D. Hui / Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. – 2022. – 44(111) – p. 412–423. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03401-5>
12. Watkins S. Aerodynamic drag reduction of goods trains / S. Watkins, J. W. Saunders, H. Kumar // Journal of Wind Engineering and Industr. Aerodynamics. – 1992. – Vol. 40. – Iss. 2. – P. 147–178. doi: 10.1016/0167-6105(92)90363-F.
13. Напіввагоны чотирирівні моделі 12-9745, 12-9745-1. Настанова щодо експлуатації. – Київ, ДП «ПКТБ ЦВ Укрзалізниця. – 2012. – 38 с.
14. Полувагон модель 12-791. Руководство по эксплуатации. – Кременчук, ОАО КВСЗ, 2000. – 31 с.
15. Полувагоны модель 12-9904 и 12-9904-01. Руководство по эксплуатации. – Донецк, ПрАО ДонецкСталь - металлургический завод, 2000. – 26 с.
16. Полувагон модель 12-4106. Руководство по эксплуатации. – Днепродзержинск, ПАО Днепровагонмаш, 2012. – 30 с.
17. Полувагон модель 12-9904. Руководство по эксплуатации. – Кадиевка, ПАО Стахановский вагоностроительный завод, 2011. – 34 с.
18. Напіввагоны чотирирівні моделі 12-7023, 12-7023-1. Керівництво з експлуатації. – Кременчук, ВАТ КрВБЗ. – 2005. – 62 с.
19. Напіввагон чотирирівні моделі 12-7039. Керівництво з експлуатації. – Кременчук, ВАТ КрВБЗ. – 2005. – 57 с.
20. Gondolas: Coal – BethGon® II Cars [Electronic resource] FreightCar America (USA), 2024. – Updated continuously. – Regime of access: <https://freightcaramerica.com/coal-bethgon-ii/>, free (date of the application: 04.06.2024).
21. Gondolas: Aggregate Gondola Cars (Agon) [Electronic

resource] FreightCar America (USA), 2024. – Updated continuously. – Regime of access: <https://freightcaramerica.com/aggregate-agon/>, free (date of the application: 04.06.2024).

22. Gondolas: 4,402 Cubic Foot Aluminum Rotary Gondola [Electronic resource] TRINITYRAIL (USA), 2024. – Updated continuously. Regime of access: <https://www.trinityrail.com/products/gondolas/>, free (date of the application: 04.06.2024).

References

1. Mokrshitskiy, Ye. I. (1946). Istoriya razvitiya vagonnogo parka zp.heleznykh dorog SSSR. Moskva. Transzheldorizdat. 204 p. [in Russian]
2. Shevchenko, P. V., Gorbenko A. P. (1980). Vagony promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta. Kiyev. Vishcha shkola. 223 p. [in Russian]
3. Shadur, L. A. (1988) Razvitiye otechestvennogo vagonnogo parka. – Moskva. Transport. 279 p. [in Russian]
4. Ustyak, N. V. (2015) Rozvytok vahonobuduvannya v Ukrayini (20-30 roky XX stolittya). Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu. Istoriya nauky i tekhniki, 7, 124-130. [in Ukrainian]
5. Antonyuk, T. S. (2013) Istoriya rozvytku vantazhnogo vahonnoho parku v Ukrayini (1875-1917). Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu. Doslidzhennya z istoriyi tekhniki. 18, 4-7. [in Ukrainian]
6. Ruban, M. YU. (2021) Do istoriyi onovlennya parku vantazhnykh vahoniv derzhavnykh zaliznyts' Ukrayiny (1918-1919). Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koho naukovo-doslidnoho instytutu vahonobuduvannya "Reykovyy rukhomyy sklad". 22. 92-104. [in Ukrainian]
7. Donchenko, A. V. (2007) Onovlennya rukhomoho skladu zaliznyts'. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu. 15, 75-82. [in Ukrainian]
8. Myamlin, S. V., Keбал, I. U., & Kolesnykov, S. R. (2014) Design review of gondola car. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu. № 6 (54). 136-143. <https://doi.org/10.15802/stp2014/33773>
9. Baranovskiy, D., Bulakh, M., Myamlin, S., & Keбал, I. (2022) New Design of the Hatch Cover to Increase the Carrying Capacity of the Gondola Car Advances. In Science and Technology Research Journal. 16(6), 186–191. <https://doi.org/10.12913/22998624/156205>
10. Vijaya, Ramnath B., Elanchezhian, C., Manickavasagam V. M., Surya, Narayanan R., Sudharshan, R., & Pugazhendhi, G. (2019) A review on sandwich composites and their advancements. In Mater Today Proc. 16(2): 1146–1151. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.207>
11. Faidzi, M. K., Abdullah, S., Abdullah, M. F., Azman, A. H., Singh, S., & Hui, D. (2022) Geometrical effects of different core designs on metal sandwich panel under static and fatigue condition. In Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 44(111): 412–423. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03401-5>
12. Watkins, S., Saunders, J. W., & Kumar H. (1992) Aerodynamic drag reduction of goods trains. In Journal of Wind Engineering and Industr. Aerodynamics. Vol. 40. – Iss. 2. – 147–178. [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(92\)90363-F](https://doi.org/10.1016/0167-6105(92)90363-F).
13. Napivvahony chotyryvisni modeley 12-9745, 12-9745-1. Nastanova shchodo ekspluatatsiyi. (2012). Kyiv, DP «PKTB TSV Ukrzaliznytsi. [in Ukrainian]
14. Napivvahon modeli 12-791. Kerivnytstvo z ekspluatatsiyi. (2000). Kremenchuk, VAT KrVBZ.
15. Poluvagony model' 12-9904 i 12-9904-01. Rukovodstvo po ekspluatatsii. (2000). Donetsk, PrAO DonetskStal' - metal-

lurgicheskiiy zavod [in Russian]

16. *Poluvagon model' 12-4106. Rukovodstvo po ekspluatatsii.* (2012). Dneprodzerzhinsk, PAO Dneprovagonmash. [in Russian]
17. *Poluvagon model' 12-9904. Rukovodstvo po ekspluatatsii.* (2011). Kadiyevka, PAO Stakhanovskiy vagonostroitel'nyy zavod. [in Russian]
18. *Napivvahon chotyryvisnyy modeley 12-7023, 12-7023-1.12-7039. Kerivnystvo z ekspluatatsiyi.* (2005). Kremenchuk, VAT KrVBZ. [in Russian]
19. *Napivvahon chotyryvisnyy modeli 12-7039. Kerivnystvo z ekspluatatsiyi.* (2005). Kremenchuk, VAT KrVBZ. [in Russian]
20. FreightCar America (USA). (2024). *Gondolas: Coal – Bethgon II Cars* <https://freightcaramerica.com/coal-bethgon-ii/>.
21. FreightCar America (USA). (2024). *Aggregate Gondola Cars (Agon)* <https://freightcaramerica.com/aggregate-agon/>.
22. TRINITYRAIL (USA). (2024) *Gondolas: 4,402 Cubic Foot Aluminium Rotary Gondola* <https://www.trinityrail.com/products/gondolas/>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. 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
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0481-3514>

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

Автор: ШОВКУН Вадим Олександрович
кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – vadimshovkun62@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-6053>

Автор: ЛИТОВЧЕНКО Олександр Миколайович
аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – rokada_t@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0545-9205>

Автор: ДМИТРЕНКО Максим Володимирович
аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – lemtr21@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6155-601X>

Автор: БАЛАШОВ Олександр Олександрович
аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – balashov@kart.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2712-2495>

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF GONDOLA CAR BODY STRUCTURES

I. Martynov, A. Trufanova, V. Shovkun, O. Lytovchenko, M. Dmytrenko, O. Balashov
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

The article is devoted to the analysis of promising directions for the development of gondola car body structures. It considers the history of the emergence of gondola cars as a separate type of railway rolling stock. The authors systemise the design of gondola cars and discuss the advantages and disadvantages of various designs.

The study has shown that the manufacture of the two-axle gondola cars began in the second half of the 19th century. They were designed mainly for transporting coal and iron ore, with their bodies made of wood. Further design improvement led to the appearance of four-axle gondola cars with increased load capacity. Rolled metal began to be used in body structures to improve strength.

Particular attention in the article goes to analysing the results of innovative design and technological solutions intended to enhance the efficiency and reliability of body structures. The research indicates that attempts to replace steel with aluminium alloys in manufacturing bodies did not yield results. The reason is the high cost of aluminium and the labour-intensive manufacturing. A promising direction is the use of low-alloy steels 10KhSND and 10KhNDP.

For many years, there has been a trend in the railcar-building industry toward producing higher-load gondola cars. It requires increasing the axle load to 25 tons. However, implementing such cars necessitates a substantial restructuring of the railway infrastructure.

We consider the design features of innovative domestic gondola cars in detail. The latest technical solutions for the body frame, efficient materials, and components with improved performance have doubled the overhaul mileage.

The article analyses the North American experience of gondola car construction and operation. It shows that some models of American gondola cars use longitudinal cylindrical boxes to increase the body volume and reduce the car's centre of mass. They are on both sides of the girder beam and occupy the space between the carts. Aluminium alloys are also widely used: the frame and lower part of the body are steel, and the side and end walls are aluminium alloy.

Keywords: gondola car, body, girder beam, pivot beam, side walls, hatch cover, reliability.