

Андрій Сулим^{1*}, Олександр Сафронів², Павло Хозя³, Андрій Стринжа⁴

¹ Заступник директора з наукової роботи, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, 39621, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

² Директор, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, 39621, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5865-7756>

³ Завідувач науково-дослідної лабораторії, Науково-дослідна лабораторія експериментальних досліджень залізничної техніки, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, 39621, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

⁴ Завідувач науково-дослідної лабораторії, Науково-дослідна лабораторія вантажного та спеціального рухомого складу, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, 39621, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3743-7006>

* Автор, відповідальний за листування: sulim1.ua@gmail.com

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ВАГОНА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ

Описано вид та характеристики такого вантажу як залізорудні окатиші. Наведено технологію виробництва залізорудних окатишів на гірничозбагачувальному комбінаті. Розглянуто процес перевезення залізорудних окатишів магістральними коліями АТ «Укрзалізниця» в напрямку споживачів цієї продукції на прикладі ПАТ «Полтавський гірничозбагачувальний комбінат». Встановлено, що магістральними коліями залізорудні окатиші перевозяться одним із таких типів вантажних вагонів: універсальними напіввагонами з глухodonним кузовом або розвантажувальними люками, спеціалізованими вагонами-хоперами для перевезення окатишів та агломерату, думпкарми магістрального призначення. Виконано порівняльний аналіз ефективності використання зазначених типів вантажних вагонів за такими техніко-економічними показниками (критеріями) як маса тари, вантажопідйомність, об'єм кузова, питома матеріалоемність, питомий об'єм, габарит, термін служби, міжремонтні пробіги, навантажувальний коефіцієнт тари, коефіцієнт використання місткості кузова, погонне навантаження, вартість, вартість життєвого циклу. Визначено, що найбільш раціональним варіантом для перевезення залізорудних окатишів є використання універсального напіввагона. Подальші дослідження необхідно спрямувати на розроблення типорозмірного ряду спеціалізованих вантажних вагонів з підвищеним погонним навантаженням та покращеними техніко-економічними показниками для перевезення залізорудних окатишів на базі універсального напіввагона.

Матеріали статті сприятимуть раціональному вибору вантажного рухомого складу для перевезення залізничними магістральними коліями такого вантажу як залізорудні окатиші.

Ключові слова: вагон-хопер, вантажний рухомий склад, думпкар, залізорудні окатиші, напіввагон.

Вступ. Залізорудні окатиші – сферичні кульки, одержувані під час подрібнення залізної руди в порошок. Цей оксид заліза формується в окатиші під час використання глини як сполучного компонента, потім обпалюється в печі за температури 1315 °С. Цей вантаж

негорючий, не має особливих небезпек, спеціальні вимоги під час перевезення не встановлені. Насипна щільність залізрудних окатишів складає 1,9–2,4 т/м³ [1]. Залізрудні окатиші під час перевезення залізничним транспортом належать до категорії вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів.

Технологія виробництва залізрудних окатишів включають такі основні етапи: підрих гірської породи в кар'єрі, перевезення гірської породи з кар'єру до пунктів перевантаження, перевезення залізної руди з пунктів на переробний комплекс, а пустої породи на відвали, виробництво та відвантаження залізрудних окатишів, формування рухомого складу з залізрудними окатишами та його перевезення до споживачів [2].

Дані статистичних досліджень [3] показують, що обсяги перевезення залізрудних окатишів залізничним транспортом щороку збільшуються, що свідчить про збільшення видобутку залізної руди та необхідність пошуку шляхів удосконалення технології перевезень цього типу вантажу.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Оптимізацію технології перевезення залізної руди залізничним транспортом на території гірничозбагачувального комбінату, підвищення пропускної спроможності залізничної інфраструктури гірничозбагачувального комбінату в умовах збільшення обсягів перевезення залізної руди, удосконалення та модернізації залізничного рухомого складу магістрального та промислового призначення розглянуто в роботах [4–13]. Аналіз робіт останнього періоду [14–16] дозволив встановити, що поліпшення конструкцій вантажного рухомого складу для перевезення залізрудних окатишів передусім направлено на удосконалення несівної та розвантажувальної систем. Однак в зазначених дослідженнях питання раціонального вибору вантажного рухомого складу для перевезення залізрудних окатишів магістральними коліями залізниці не розглядалось. Ця тема дослідження має практичне значення та є актуальною, оскільки від вибору вантажного рухомого складу для перевезення залізрудних окатишів будуть залежати техніко-економічні показники ефективності використання цього складу, в тому числі його термін окупності.

Мета – здійснити раціональний вибір серед існуючого типу вантажного рухомого складу та обґрунтувати необхідність розроблення спеціалізованого вагона для перевезення залізрудних окатишів магістральними коліями АТ «Укрзалізниця».

Матеріал та результати досліджень. В цій роботі здійснення раціонального вибору вантажного рухомого складу для перевезення залізрудних окатишів запропоновано розглянути на прикладі функціонування ПАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат», яке має повний технологічний цикл – від видобутку сирової залізної руди до виробництва залізрудних окатишів.

Процес відвантаження окатишів автоматизований. Щодобово в цеху завантажуються під 40 тис. тонн залізрудних окатишів (середня норма 35–36 тис. тон), що становить 9–10 поїздів загальною вагою близько 3700 тонн кожен [2]. Склад формується на території заводу та виставляється на станцію Золотнишине.

Перевезення залізрудних окатишів здійснюється на експорт за трьома напрямками – порт Південний, порт Ізмаїл, Західна Європа в співвідношенні 50 %/20 %/ 30 % [2]. За всіма напрямками залізрудні окатиші доставляються магістральними коліями залізничного транспорту, де потім вони перевантажуються на вагони з шириною колії 1435 мм або в портах – на судна. Власний парк вагонів покриває потребу в перевезеннях магістральними коліями на 75–80 %, інші 20–25 % – це оренда рухомого складу АТ «Укрзалізниця» або приватних власників. Перевезення залізрудних окатишів магістральними коліями з ПАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» здійснюється одним з таких типів вантажного рухомого складу: універсальними напіввагонами з глухо донним кузовом або розвантажувальними люками, спеціалізованими вагонами-хоперами для перевезення окатишів та агломерату, думпкарми магістрального призначення (рис. 1).



Рис. 1. Тип вантажного рухомого складу для перевезення залізрудних окатишів, який використовується ПАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат»

Як вантажні вагони переважно використовуються напіввагони люкові моделі 12-783, напіввагони глухонічні моделі 12-7019, вагони-хопери для перевезення окатишів та агломерату моделі 20-4015, думпкари магістрального призначення моделі 31-673. Технічні характеристики зазначених типів вантажних вагонів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики вантажних вагонів [17]

Найменування характеристики	Модель вантажного вагона			
	12-783	12-7019	20-4015	31-673
Вантажопідйомність, т	70,0	72,0	70,0	66,0
Об'єм кузова, м ³	78,0	77,5	45,0	35,0
Маса тари вагона, т	24,0	22,0	24,0	27,5
Технічний коефіцієнт тари	0,343	0,306	0,343	0,42
Питомий об'єм, м ³ /т	1,114	1,076	0,643	0,53
Розрахункове навантаження від колісної пари на рейку, кН (тс)	230,5 (23,5)	230,5 (23,5)	230,5 (23,5)	230,5 (23,5)
Погонне навантаження, кН/м	66,2	66,2	81,6	77,9
Конструкційна швидкість, км/год	120	120	120	120
Максимальна ширина кузова, мм	3230	3210	3154	3197
Довжина по осях зчеплення, мм	13920	13920	12000	11830
Модель візка	18-100, 18-7055	18-100	18-100	18-100
Габарит по ГОСТ 9238	1-ВМ	1-ВМ	1-ВМ	1-Т
Нормативний строк служби, років	22	22	15	22
Рік постановки на серійне виробництво	2006	2005	1989	1988
Підприємство-виробник	ПАТ «КВБЗ»	ПАТ «КВБЗ»	ПрАТ «Дніпро-вагонмаш»	ВАТ «ДМЗ»

У переважній більшості випадків вантажні вагони завантажуються до максимальної вантажопідйомності на гірничо-збагачувальному комбінаті та слідує одним з вищезазначених напрямків. В зворотному напрямку вантажний рухомий склад слідує порожнім. Таким чином,

перевезення відбуваються на замкнутих маршрутах з відносно прогнозованим стабільним графіком. Вивантаження залізничних окатишів відбувається переважно за допомогою вагоноперекидачів. Далі в цій роботі більш детально зупинимось на процесі перевезення залізничних окатишів магістральними коліями АТ «Укрзалізниця» зазначеними типами вантажних вагонів з метою визначення серед них раціонального типу шляхом виконання порівняльного аналізу техніко-економічних показників ефективності використання.

Під час вибору вантажного рухомого складу для перевезення того чи іншого вантажу найбільшу роль відіграють два взаємозалежні завдання: визначення спеціалізації вагона та підбір вантажопідйомності. Вантажопідйомність є одним з основних параметрів, однак вона не завжди виражає дійсну кількість вантажу, який може бути перевезено певним типом вантажного вагона.

Для здійснення правильного вибору вантажного вагона мають враховуватися такі елементи (фактори) [18]:

транспортні: вид вантажу і його характеристика; кількість вантажу; обсяг і стабільність перевезень; відстань перевезень; способи навантаження-розвантаження й складська облаштованість; вид маршрутів і організація перевезень;

конструкційні: кузов; використання маси;

експлуатаційні якості: адаптація кузова; вантажомісткість; зручність використання;

економічні й натуральні критерії: продуктивність вагона, собівартість перевезення; зведені витрати; трудомісткість перевезень; позатранспортний ефект.

Перший елемент (транспортний) розглянуто вище у вступній частині за результатами аналізу матеріалів довідкового характеру та організації процесу перевезення залізничних окатишів на прикладі ПАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат». Інші елементи (конструкційні, експлуатаційні, економічні й натуральні критерії) запропоновано розглянути за результатами порівняльного аналізу техніко-економічних показників вищеперерахованих моделей вантажних вагонів, здатних здійснювати перевезення залізничних окатишів магістральними коліями АТ «Укрзалізниця».

Обґрунтування вибору вантажного рухомого складу запропоновано здійснити шляхом виконання порівняльного аналізу за такими техніко-економічними показниками: технічний коефіцієнт тари або питома матеріалоемність, навантажувальний коефіцієнт тари, експлуатаційний коефіцієнт тари, навантажувальний (корисний) об'єм, коефіцієнт використання місткості кузова вагона, питома об'єм, питома вантажопідйомність, вартість, вартість життєвого циклу, питома вартість життєвого циклу в розрахунку на 1 тону вантажу.

Технічний коефіцієнт тари або питома матеріалоемність характеризується співвідношенням маси тари до вантажопідйомності вагона. Цей конструкційний показник для кожної моделі вагона наведено в таблиці 1. Чим цей коефіцієнт менший, тим краща конструкція вагона. Однак технічний коефіцієнт не відображає масу тари вагона, що припадає на тону фактично перевезеного вантажу у визначених умовах експлуатації.

Навантажувальний коефіцієнт тари визначають за формулою [18]:

$$k = \frac{q_m}{\lambda \cdot P_{en}}, \quad (1)$$

де q_m – маса тари вагона, т; λ – кількість використання вантажопідйомності вагона;

P_{en} – вантажопідйомність вагона, т.

$$\lambda = \frac{P_{cm}}{P_{en}^{cp}}, \quad (2)$$

де P_{cm} – статичне навантаження вагона, т; P_{en}^{cp} – середня вантажопідйомність вагона, т.

Цей коефіцієнт дозволяє більш точно відображати експлуатаційні якості вагона та враховувати можливе використання вантажопідйомності вагонів під час перевезення характерних типів вантажів. При цьому навантажувальний коефіцієнт не враховує порожній пробіг вагонів, що залежить від його конструкції.

Експлуатаційний коефіцієнт тари визначають за формулою [18]:

$$k_e = \frac{q_m(1 + \alpha_{пор})}{P_{дн}}, \quad (3)$$

де $\alpha_{пор}$ – коефіцієнт порожнього пробігу (відношення порожнього пробігу вагона до навантаженого); $P_{дн}$ – середнє динамічне навантаження вагона, т.

Навантажувальний корисний об'єм $V_{нав}$, м³ – та частина повного об'єму, що може бути використана для завантаження вагона певним вантажем. Цей показник визначається як відношення вантажопідйомності вагона до насипної щільності вантажу.

Коефіцієнт використання місткості кузова вагона визначається як відношення навантажувального корисного об'єму кузова вагона для певного роду вантажу до вантажопідйомності вагона [18]:

$$k_v = \frac{V_{нав}}{V_{пов}}, \quad (4)$$

де $V_{пов}$ – повний геометричний об'єм кузова вагона, т (див. табл. 1).

Питомий об'єм $V_{пит}$, м³/т – співвідношення об'єму кузова вагона і його вантажопідйомності. Значення цього показника для кожної моделі вагона наведено в таблиці 1.

Питома вантажопідйомність – це частина вантажопідйомності вагона, що припадає на 1 м³ геометричного об'єму кузова (т/м³), вона зворотна питомому об'єму кузова вагона [18]:

$$P_{пит} = \frac{P_{вн}}{V_{пов}}. \quad (5)$$

Середня продуктивність вагона E_e робочого парку визначається відношенням вантажообігу загальної кількості експлуатаційних тонно-кілометрів (нетто) до робочого парку вагонів [18, 19]:

$$E_e = \frac{\sum P_{вн} \cdot l_e}{n_e}, \quad (6)$$

де l_e – середньодобовий пробіг вагона робочого парку, км; n_e – кількість вагонів у складі поїзда (робочий парк), шт.

Кількість вагонів у складі поїзда залежно від типу визначається за формулою:

$$n_e = \frac{l_{не}}{L}, \quad (7)$$

де $l_{не}$ – обмеження довжина поїзда, м; L – довжина вагона по осях автозчепів, м (табл. 1).

Кількість перевезеного вантажу поїздом (m_n , т) визначається як добуток кількості вагонів у поїзді, вантажопідйомності вагона і коефіцієнта, який показує кількість використання вантажопідйомності вагона:

$$m_n = P_{en} \cdot \lambda \cdot n_e. \quad (8)$$

Під час виконання розрахунків за формулами (1)–(8) прийнято, що насипна щільність залізородних окатишів складає 2,1 т/м³. Інші показники обрано з табл. 1 або отримано за даними особливостей перевезення залізородних окатишів, як то $\lambda=1$; $P_{дн(12-783)}=35$ т;

$P_{дн(12-7019)}=36$ т; $P_{дн(20-4015)}=35$ т; $P_{дн(31-673)}=33$ т; $l_s = 192$ км; $\alpha_{nop}=0,5$.

Результати розрахунків за формулами (1)–(6) наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунків технічних показників

Найменування характеристики	Модель вантажного вагона			
	12-783	12-7019	20-4015	31-673
Навантажувальний коефіцієнт (k)	0,343	0,306	0,343	0,42
Експлуатаційний коефіцієнт тари (k_e)	1,029	0,917	1,029	1,25
Навантажувальний корисний об'єм ($V_{нав}$, м ³)	33,3	34,3	33,3	31,4
Коефіцієнт використання місткості кузова, (k_v)	0,427	0,443	0,74	0,9
Питома вантажопідйомність, ($P_{пит}$, т/м ³)	0,897	0,929	1,556	1,886
Продуктивність вагона, (E_s , т·км нетто)	13440	13824	13440	12672
Кількість перевезеного вантажу поїздом*, (m_n , т)	4270	4392	4900	4686

*Примітка. Визначення можливої кількості перевезеного вантажу поїздом виконано з урахуванням обмеження довжини поїзда 850 м, який прийнято на підставі стандартної довжини станційних приймально-відправних колій.

Вартість життєвого циклу вантажного вагона розраховують за формулою [20, 21]:

$$LCC = C_e + B_e - B_y, \quad (9)$$

де C_e – вартість нового вагона, тис. грн; B_e – вартість експлуатаційних витрат протягом життєвого циклу вагона, тис. грн; B_y – вартість утилізації або ліквідаційна вартість вагона, тис. грн.

Експлуатаційні витрати протягом життєвого циклу розраховуються за формулою [20–22]:

$$B_e = B_{ек} \cdot \frac{1 - (1 + R)^{-T}}{R} + \sum_{t=0}^T \frac{B_{рем,t}}{(1 + R)^t}, \quad (10)$$

де $B_{ек}$ – середні річні витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням, поточним ремонтом, усуненням відмов, тис. грн;

R – ставка дисконту, частка;

T – тривалість життєвого циклу (приймається рівною призначеному строку служби вагонів), років;

t – інтервал часу, років;

$B_{рем,t}$ – витрати, пов'язані з плановими ремонтами вагона, тис. грн.

Вартість утилізації або ліквідаційна вартість вагона визначають за формулою [20–22]:

$$B_y = \frac{B_{лік}}{(1 + R)^T}, \quad (11)$$

де $B_{лік}$ – ліквідаційна вартість вагона (вартість на кінець терміну життєвого циклу), тис. грн.

Питома вартість життєвого циклу в розрахунку на 1 т вантажу, перевезеного вагоном, визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{LCC}{P_{en}} = \frac{LCC \cdot n_e}{m_n}, \quad (12)$$

Протягом експлуатаційного етапу життєвого циклу вантажний вагон може знаходитись у таких технологічних станах, що пов'язані з безпосередньою експлуатацією та утриманням вантажного вагона в технічно справному стані:

1. Обслуговування у вантажних поїздах.
2. Утримання в технічно справному стані шляхом проведення технічного обслуговування у пунктах приймання та відправлення вантажів.
3. Відновлення технічного ресурсу шляхом проведення ремонтів:
поточного ремонту з відчепленням;
деповського ремонту;
капітального ремонту КР;
капітального ремонту з продовженням терміну експлуатації КРП.

Далі визначено вартість життєвого циклу для досліджуваних моделей вантажних вагонів, які здійснюють перевезення залізничних окатишів, прийнявши термін життєвого циклу вагонів 22 роки. Співставлення LCC об'єктів досліджень між собою дозволяє оцінити порівняльну економічну ефективність використання вагонів залежно від типу та моделей. Вихідні дані для визначення вартості життєвого циклу вищезазначених моделей вантажних вагонів наведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Вихідні дані для визначення вартості життєвого циклу вантажних вагонів

Найменування показника	Модель вантажного вагона			
	12-783	12-7019	20-4015	31-673
Вартість нового вагона без ПДВ (C_0 , тис. грн)	1213	1199	1401	1643
Середні річні витрати на технічне обслуговування, поточні ремонти, усунення відмов ($B_{ек}$, тис. грн.)	25	25	20	15
Витрати на один депо́вський ремонт ($B_{др}$, тис. грн)	50	48	55	58
Витрати на один капітальний ремонт ($B_{кр}$, тис. грн)	70	68	72	73
Витрати на один капітальний ремонт з продовженням терміну експлуатації ($B_{крп}$, тис. грн)	–	–	85	–
Загальний рівень реальної ставки дисконту (R , %)	13,9			

*Примітка. Вартість нових вагонів наведено станом на вересень 2020 р. Вартість вантажних вагонів моделей 20-4015 та 31-673 наведено з урахуванням вартості вагонів-аналогів, які за своїми технічними характеристиками є ідентичними та продовжують серійно виготовлятися.

Результати розрахунків вартості життєвого циклу, зазначених моделей вантажних вагонів, які можуть здійснювати перевезення залізничних окатишів, а також питомої вартості життєвого циклу в розрахунку на 1 тону перевезеного вантажу, виконаних за формулами (6)–(10), наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Результати розрахунку вартості життєвого циклу вагона

Найменування показника	Модель вантажного вагона			
	12-783	12-7019	20-4015	31-673
Вартість життєвого циклу вагона LCC, тис. грн	1476	1459	1711	1899
Питома вартість життєвого циклу в розрахунку на 1 тону вантажу, тис. грн/т	21,1	20,3	24,4	28,8

За результатами аналізу техніко-економічних показників використання вантажних вагонів під час перевезення залізничних окатишів (табл. 2, 4) встановлено таке:

вантажопідйомність вантажних вагонів максимально використовується незалежно від типу та розглянутих моделей внаслідок значної насипної щільності залізничних окатишів;

для всіх типів та моделей характерне недостатнє використання місткості кузова вантажного вагона, особливо це стосується універсальних люкових та глухонних напіввагонів, де ефективність використання кузова вагона складає на рівні 42-44%;

найбільша продуктивність зафіксована для глухонного напіввагона, однак продуктивність інших типів вагонів є меншою в незначній мірі;

з урахуванням обмеження довжини поїзда 850 м найбільшу вантажопідйомність поїзда можна сформувати з спеціалізованих вагонів-хоперів для перевезення окатишів та агломерату – 70 вагонів загальною масою нетто вантажу 4900 т, найменшу – з люкових напіввагонів (61 вагон загальною масою нетто вантажу 4270 т);

переваги перевезення залізничних окатишів глухонними та люковими напіввагонами полягають у універсальності, порівняно низькому навантажувальному коефіцієнті, експлуатаційному коефіцієнті тари; меншій вартості вагона, вартості життєвого циклу, питомій вартості життєвого циклу в розрахунку на 1 тону перевезеного вагоном вантажу. Глухонні напіввагони мають кращі техніко-економічні показники завдяки меншому значенню технічного коефіцієнта тари. При цьому серед недоліків найбільш неефективне використання місткості кузова у порівнянні з іншими типами вагонів;

переваги перевезення залізничних окатишів спеціалізованими вагонами-хоперами полягають у можливості завантаження вантажу при високих температурах, наявності автоматизованого механізму розвантаження, порівняно низькому навантажувальному коефіцієнті, експлуатаційному коефіцієнті тари; ефективному використанні місткості кузова порівняно з напіввагонами, незначна довжина по осях зчеплення та наявна вантажопідйомність дозволяє сформувати поїзд максимальної ваги. Серед недоліків значна вартість вагона, вартість його життєвого циклу, питома вартість життєвого циклу в розрахунку на 1 тону перевезеного вагоном або поїздом вантажу, неможливість розвантаження за допомогою вагоноперекидача. При цьому слід зазначити, що у вітчизняному вантажному парку залишилась незначна кількість цього типу рухомого складу (близько 5500 вагонів) та його чисельність постійно скорочується;

переваги перевезення залізничних окатишів думпками магістрального призначення полягають у наявності автоматизованого механізму розвантаження, найбільш ефективному використанні місткості кузова порівняно з напіввагонами та спеціалізованими вагонами-хоперами для перевезення окатишів та агломерату, незначна довжина по осях зчеплення та наявна вантажопідйомність дозволяє сформувати поїзд більшої ваги порівняно з напіввагонами. Серед недоліків: високий навантажувальний коефіцієнт, експлуатаційний коефіцієнт тари, значна вартість вагона, вартість його життєвого циклу, питома вартість життєвого циклу в розрахунку на 1 тону перевезеного вантажу, неможливість розвантаження за допомогою вагоноперекидача. При цьому слід зазначити, що у вітчизняному вантажному парку цей тип рухомого складу має найбільшу зношеність на рівні з вагонами хопер-дозаторами (рівень зносу > 98 %) та його чисельність постійно скорочується (на разі налічується близько 2000 вагонів).

Результати розрахунків показали недостатню ефективність використання існуючих типів вантажних вагонів під час перевезення такого вантажу як залізрудні окатиші, головним чином внаслідок недостатнього використання місткості кузова. За техніко-економічними показниками найбільш доцільним є використання універсальних напіввагонів завдяки показникам вартості вагона, вартості життєвого циклу, можливості швидкого розвантаження за допомогою вагоноперекидача та ряду інших показників. Тому, одним з перспективних напрямів створення спеціалізованого вагона для перевезення залізрудних окатишів є модернізація конструкції універсальних напіввагонів шляхом підвищення ефективності використання місткості кузова та погонного навантаження.

Таким чином, існує потреба в розробленні типорозмірного ряду спеціалізованого вагона для перевезення залізрудних окатишів на базі універсального напіввагона, що дозволить зменшити необхідну чисельність парку вагонів, підвищити ефективність використання вагонів та поліпшити пропускну здатність станцій.

Висновки

1. На прикладі ПАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» визначено, що залізрудні окатиші перевозяться магістральними коліями АТ «Укрзалізниця» одним з наступних типів вантажного рухомого складу: універсальними напіввагонами з глухо донним кузовом або розвантажувальними люками, спеціалізованими вагонами-хоперами для перевезення окатишів та агломерату, думпкерами магістрального призначення.

2. За результатами порівняльного аналізу техніко-економічних показників використання вантажних зазначених типів встановлено, що для перевезення залізрудних окатишів найбільш раціональним є використання універсальних напіввагонів. Основні переваги використання універсальних напіввагонів полягають у мінімальній вартості нового вагона, вартості життєвого циклу, можливості розвантаження за допомогою вагоноперекидача та ряду інших технічних показників.

3. Результати розрахунків показали недостатню ефективність використання існуючих типів вантажних вагонів під час перевезення такого вантажу як залізрудні окатиші, головним чином внаслідок недостатнього використання місткості кузова. Тому, існує необхідність розроблення спеціалізованого вантажного вагона для перевезення залізрудних окатишів з ефективним використанням місткості кузова.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на розроблення типорозмірного ряду спеціалізованих вантажних вагонів з підвищеним погонним навантаженням та покращеними техніко-економічними показниками для перевезення залізрудних окатишів на базі універсального напіввагона.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила надання послуг у морських портах України. Наказ Мінінфраструктури від 05.06.2013 р. № 348 зі змінами від 12.08.2014 р. № 390; від 30.12.2020 р. № 850. Офіційний вісник України. 2021. № 6, с. 246, стаття 317.
2. Окатышева логистика: Как работает транспорт Полтавского ГОКа. URL: https://cfts.org.ua/poezdka_s_cts/okatyshelaya_logistika_kak_rabotaet_transport_poltavskogo_goka_2 (Дата звернення: 19.07.2022)
3. Державна служба статистики України. URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (Дата звернення: 19.07.2022)
4. Козаченко Д.М., Малашкін В.В., Березовий М.І., Іскра О.Л. Дослідження пропускнуої спроможності залізничної інфраструктури гірничозбагачувального комбінату в умовах збільшення обсягів перевезення сировини. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В.Лазаряна. Серія "Транспортні системи та технології". 2020. Вип. 20. С. 86–93. <https://doi.org/10.15802/tstt2020/217417>.
5. Анофрієв В.Г., Зародов О.О., Ільчишин В.В., Ісепенко І.В., Можейко С.Р., Мокрій Т.Ф., Позняков В.Д., Рейдемейстер О.Г., Ушкалов В.Ф., Шаповал А.В. Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління. 2014. № 10 (91). С. 4–9.
6. Донченко А.В. Стратегічні плани розвитку галузі транспортного машинобудування щодо створення нових видів рейкового рухомого складу для залізниць та міського господарства у 2008-2020 роках. Збірник наукових праць "Рейковий рухомий склад". 2009. Вип. 1. С. 7–13.

7. Донченко А.В., Сафронов О.М. Вимоги до формування типорозмірного ряду вагонів нового покоління для забезпечення підвищеної провізної спроможності залізниць. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2016. Вип. 13. С. 36–40.
8. Рябов Є.С., Мосін С.В., Овер'янова Л.В., Кондратьєва Л.Ю., Демидов О.В., Гулак С.О. Оцінка технічних параметрів локомотива для залізничного кар'єрного транспорту. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2022. Вип. 39. С. 83–100. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-9>.
9. Сулим А.О., Стринжа А.М., Бородай О.О., Федоров В.В. Технічні характеристики та шляхи удосконалення вагонів-думпкарів для промислового транспорту. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2021. Вип. 23. С. 54–73. <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2021-23-54-73>.
10. Сафронов О.М., Водяніков Ю.Я., Хозя П.О., Можейко А.Є. Гальмівна ефективність кар'єрних поїздів з шестивісними думпкарами підвищеного осьового навантаження до 27,7 тс. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». 2021. Вип. 23. С. 111–126. <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2021-23-111-126>.
11. Сулим А.О., Хозя П.О., Стринжа А.М., Речкалов В.С., Федоров В.В. Шляхи та перспективи удосконалення вагонів-думпкарів. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2022. Вип. 39. С. 51–65. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-6>.
12. Костриця С.А., Федоров Є.Ф., Болотов В.В., Грановська Н.Й. Ходові динамічні та міцнісні випробування вагона-платформи моделі 13-7133 на візках з ковзунами зазорного типу для перевезення крупногабаритних контейнерів // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 квітня 2021 р. / за заг. ред. А.В. Радкевича, Р.В. Рибалки. Дніпров. нац. ун-т. залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2021. С. 307–308.
13. Фомін О.В., Стукало А.В. Оцінка ефективності використання вантажних вагонів удосконалених конструкцій з урахуванням мультиплікативного ефекту для економіки України. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2016. Вип. 35. С. 130–141.
14. Фомін О.В., Сапронова С.Ю., Кочешкова Н.С., Фомін В.В. Аналіз випробувань модернізованих вагонів-хоперів для окатишів та агломерату моделі 20-9749. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». 2017. Вип. 1(37). С. 392–401.
15. Патент України на корисну модель № 122540, МПК (2017.01) B61D 17/00, B61D 3/00 Залізничний напіввагон-хопер для гарячих окатишів та агломерату // Фомін О.В., Фомина Ю.В., Коваленко В.В., Горбунов М.І., Фомін В.В., Бурлуцький О.В. (Україна); власник СНУ ім. В. Даля. № u2017 01093; заявка 06.02.2017; публ. 26.06.2017; Бюл. 12.
16. Fomin O., Lovska, A., Skliarenko I., Klochkov YU. Substantiating the optimization of the load-bearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 1, No. 7 (103), P. 65-74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193408>
17. Альбом-справочник "Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм". 002И-2010 ПКБ ЦВ. 742 с.
18. Вантажні перевезення на залізничному транспорті: Підручник / О.В. Лаврухін та інші. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Ч.1. 260 с.
19. Горбенко А.П., Мартинов І.Є. Конструювання та розрахунки вагонів: Навчальний посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2007. 150 с.
20. Мартинов І.Є., Калабухін Ю.Є., Труфанова А. Концепція життєвого циклу пасажирського вагона. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2021. Вип. 38. С. 153–163. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-150-14>.
21. Гненний О.М. До питання оцінки та застосування вартості життєвого циклу продукції машинобудування. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В.Лазаряна. Серія "Проблеми економіки транспорту". 2016. Вип. 12. С. 7–13.
22. Мурадян Л.А. Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / ДНУЗТ ім. акад. В.Лазаряна. Дніпро, 2020. 377 с.

REFERENCES

1. Pravyla nadannia posluh u morskikh portakh Ukrainy [Rules for providing services in seaports of Ukraine]. (2021). Nakaz Mininfrastruktury vid 05.06.2013 r. № 348 zi zminamy vid 12.08.2014 r. № 390; vid 30.12.2020 r. № 850 - Order of the Ministry of Infrastructure dated June 5, 2013 No. 348 with amendments dated August 12, 2014, No. 390; dated 12/30/2020 No. 850, *Ofitsiyni visnyk Ukrainy - Official Gazette of Ukraine*, 6, Art. 317 [in Ukrainian]
2. Okatyshevaya logistika: Kak rabotaet transport Poltavskogo GOKa [Pellets logistics: How the transport of Poltava GOK works. URL: https://cfts.org.ua/poezdka_s_cts/okatyshevaya_logistika_kak_rabotaet_transport_poltavskogo_goka_2 (Accessed July 07, 2022)
3. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (Accessed at: July 07, 2022) [in Ukrainian]
4. Kozachenko D.M., Malashkin V.V., Berezovyi M.I., & Iskra O.L. (2020). Doslidzhennia propusknoi spromozhnosti zaliznychnoi in-frastruktury himnychozbahachuvальноho kombinatu v umovakh zbilshennia obsiahiv perevezennia syrovyny [Study of the throughput capacity of the railway infrastructure of the mining and processing plant in conditions of increased volumes of raw material transportation]. *Zbirnyk naukovykh prats DNUZT im. akad. V.Lazariana. Serii "Transportni systemy ta*

tehnolohii"- Collection of scientific works of DNUZT named after Acad. V. Lazarian. "Transport systems and technologies" Series, 20, 86–93, <https://doi.org/10.15802/tstt2020/217417> [in Ukrainian]

5. Anofriiev, V.H., Zarodov, O.O., Ilchyshyn, V.V., Isopenko, I.V., Mozheiko, Ye.R., Mokrii, T.F., Pozniakov, V.D., Reidemeister, O.H., Ushkalov, V.F., & Shapoval, A.V. (2014). Rozrobka konstrukttsii ta mashynobudivnykh tekhnolohii stvorennia vantazhnykh vahoniv novoho pokolinnia [Development of structures and machine-building technologies for the creation of new generation freight cars]. *Vahonnyi park – Car fleet*, 10 (91), 4–9 [in Ukrainian]

6. Donchenko, A.V. Stratehichni plany rozvytku haluzi transportnoho mashynobuduvannia shchodo stvorennia novykh vydiv reikovoho rukhomoho skladu dlia zaliznyts ta miskoho hospodarstva u 2008-2020 rokakh. [Strategic plans for the development of the transport engineering industry for the creation of new types of rail rolling stock for railways and urban economy in 2008-2020]. (2009). *Zbirnyk naukovykh prats "Reikovy rukhomyi sklad" - Collection of scientific works "Railbound Rolling Stock"*, 7–13. [in Ukrainian]

7. Donchenko, A.V., & Safronov, O.M. (2016). Vymohy do formuvannia typorozmynnoho riadu vahoniv novoho pokolinnia dlia zabezpechennia pidvyshchenoi proviznoi spromozhnosti zaliznyts [Requirements for the formation of a standard-sized series of new-generation wagons to ensure increased transport capacity of railways]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomyi sklad» -Collection of scientific works "Railbound Rolling Stock"*, 36–40 [in Ukrainian]

8. Riabov, Ye.S., Mosin, S.V., Overianova, L.V., Kondratieva, L.Iu., Demydov, O.V., & Hulak, S.O. (2022). Otsinka tekhnichnykh parametriv lokomotyva dlia zaliznychnoho kariernoho transport [Evaluation of technical parameters of the locomotive for railway quarry transport]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii «Transportni systemy i tekhnolohii» - Collection of scientific papers DUIT. "Transport systems and technologies" series*, 39, 83–100. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-9>. [in Ukrainian]

9. Sulym, A.O., Strynzh, A.M., Borodai, O.O., & Fedorov, V.V. (2021). Tekhnichni kharakterystyky ta shliakhy udoskonalennia vahoniv-dumpkariv dlia promyslovoho transportu [Technical characteristics and ways of improving dump trucks for industrial transport]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomyi sklad» - Collection of scientific works "Railbound Rolling Stock"*, 23, 54–73. <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2021-23-54-73> [in Ukrainian]

10. Safronov, O.M., Vodiannikov, Yu.Ia., Khozia, P.O., & Mozheiko, A.Ie. (2021). Halmivna efektyvnist kariernykh poizdiv z shestyvis-nymy dumpkaramy pidvyshchenoho osovoho navantazhennia do 27,7 ts. [Braking efficiency of quarry trains with six-axle dump trucks of increased axial load up to 27.7 tons]. *Zbirnyk naukovykh prats «Reikovy rukhomyi sklad» - Collection of scientific works "Railbound Rolling Stock"*, 23, S. 111–126. <https://doi.org/10.47675/2304-6309-2021-23-111-126> [in Ukrainian]

11. Sulym, A.O., Khozia, P.O., Strynzh, A.M., Rechkalov, V.S., & Fedorov, V.V. (2022). Shliakhy ta perspektyvy udoskonalennia vahoniv- dumpkariv [Ways and prospects of improvement of dump trucks]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii «Transportni systemy i tekhnolohii» - Collection of scientific papers DUIT. "Transport systems and technologies" series*, 39, 51–65. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-6>. [in Ukrainian]

12. Kostytsia, S.A., Fedorov, Ye.F., Bolotov, V.V., Hranovska, N.I. (2021). Khodovi dynamichni ta mitsnosni vyprovuvannia vahona-platformy modeli 13-7133 na vizkakh z kovzunamy zazornoho typu dlia perevezennia krupnotonazhnykh konteineriv [Running dynamic and strength tests of the platform wagon model 13-7133 on trolleys with clearance-type slides for the transportation of large-tonnage containers]. A.V. Radkevych, R.V. Rybalka (Eds.), // *Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu - Problems and prospects for the development of railway transport. Proceedings of the 81st International Scientific and Practical Conference, April 22-23.* (pp. 307–308). Dnipro: DNUZT im. akad. V. Lazariana [in Ukrainian].

13. Fomin, O.V., & Stukalo, A.V. (2016). Otsinka efektyvnosti vykorystannia vantazhnykh vahoniv udoskonalenykh konstrukttsii z urakhuvanniam mulytyplikatyvnoho efektu dlia ekonomiky Ukrainy [Evaluation of the effectiveness of the use of freight cars of improved designs, taking into account the multiplier effect for the economy of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii «Transportni systemy i tekhnolohii» - Collection of scientific papers DUIT. "Transport systems and technologies" series*, 35, 130–141 [in Ukrainian]

14. Fomin, O.V., Sapronova, S.Iu., Kocheshkova, N.S., & Fomin, V.V. (2017). Analiz vyprovuvan modernizovanykh vahoniv-khoperiv dlia okatyshiv ta ahlomeratu modeli 20-9749 [Analysis of tests of modernized hopper wagons for pellets and agglomerate model 20-9749]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Serii «Tekhnichni nauky» - Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences"*, 1(37), 392–401.

15. Fomin, O.V., Fomina, Yu.V., Kovalenko, V.V., Horbunov, M.I., Fomin, V.V., & Burlutskyi, O.V (2017) *Patent Ukrainy na korysnu model № 122540, MPK (2017.01) B61D 17/00, B61D 3/00 Zaliznychnyi napivvahon-khoper dlia hariachykh okatyshiv ta ahlomeratu [Patent of Ukraine for utility model No. 122540, IPC (2017.01) B61D 17/00, B61D 3/00 Railway open hopper wagon for iron ore pellets and agglomerate]*. Vlasnyk SNU im. V. Dalia – Owned by SNU named after V. Dalia. No. u2017 01093; application date is February 06, 2017; publ. June 26, 2017; Bul. 12.

16. Fomin, O., Lovska, A., Skliarenko, I., & Klochkov, Yu. (2020). Substantiating the optimization of the load-bearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1, No. 7 (103), pp. 65-74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193408>

16 Al'bom-spravochnik "Gruzovye vagony zheleznykh dorog kolei 1520 mm" [Album-reference book "Freight wagons of 1520 mm gauge railways"]. 002I-2010 PKB TsV [in Russian]

15. Lavrukhin, O.V. (2015). *Vantazhni perevezennia na zaliznychnomu transporti [Freight transportation by rail]*. Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian]

16. Horbenko, A.P., & Martynov, I.E. (2007). *Konstruiuvannia ta rozrakhunky vahoniv* [Design and calculations of wagons] Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian]
17. Martynov, I.E., Kalabukhin, Yu.Ie., & Trufanova A. (2021). Kontsepsiia zhyttievoho tsyklu pasazhyrskoho vahona [Concept of the life cycle of a passenger car]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriia «Transportni systemy i tekhnologii» - Collection of scientific works of DUIT. Series "Problems of transport economy"*, 38, 153–163. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-150-14> [in Ukrainian]
18. Hnennyi, O.M. (2016). Do pytannia otsinky ta zastosuvannia vartosti zhyttievoho tsyklu produktsii mashynobuduvannia [Concerning the issue of evaluation and application of the life cycle cost of engineering products]. *Zbirnyk naukovykh prats DNUZT im. akad. V.Lazariana. Seriia «Problemy ekonomiky transportu» - Collection of scientific works of DNUZT named after Acad. V. Lazaryan. Series "Problems of transport economy"*, 12, 7–13 [in Ukrainian]
19. Muradian, L.A. (2020). Rozvytok naukovykh osnov zabezpechennia nadiinosti vantazhnykh vahoniv na etapakh zhyttievoho tsyklu [Development of the scientific basis for ensuring the reliability of freight cars at the stages of the life cycle]. *Candidate's thesis*. Dnipro: DNUZT im. akad. V.Lazariana [in Ukrainian].

Andrii Sulym^{1*}, Oleksandr Safronov², Pavlo Khozia³, Andrii Strynzha⁴

¹ Deputy director for research, State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute", 33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

² Director, State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute", 33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

³ Head of research laboratory, Research laboratory of experimental studies of railway engineering, State Enterprise "Ukrainian Railway Car Building Research Institute", 33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

⁴ Head of research laboratory, Research laboratory of freight and special rolling stock, State Enterprise "Ukrainian Railway Car Building Research Institute", 33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

JUSTIFICATION OF THE NEED FOR CONSTRUCTION OF A SPECIALIZED WAGON FOR TRANSPORTATION OF IRON ORE PELLETS

The type and characteristics of such cargo as iron ore pellets are described. The manufacturing technique of iron ore pellets at the mining processing plant is given. The process of transporting iron ore pellets along the main tracks of JSC "Ukrzaliznytsia" to the consumers of these products was considered using the example of PJSC "Poltava Mining and Processing Plant". It has been established that iron ore pellets are transported on the main railway tracks by one of the following types of freight wagons: universal gondola cars with a hollow-bottom body or discharge doors, specialized hopper wagons for the transportation of pellets and agglomerate and mainline dump cars. A comparative analysis of the efficiency of the use of the specified types of freight wagons was carried out according to such technical and economic indicators (criteria) as tare weight, carrying capacity, car body volume, material intensity, specific volume, dimensions, service life time, overhaul life, tare loading coefficient, coefficient body capacity utilization, running load, cost, life cycle cost. It was determined that the most rational option for the transportation of iron ore pellets is the use of a universal gondola car. Further research should be directed to the development of a standard-sized series of specialized freight wagons with increased linear load and improved technical and economic indicators for the transportation of iron ore pellets based on a universal gondola car.

The content of the article will contribute to the rational choice of freight rolling stock for the transportation of such kinds of cargo as iron ore pellets on mainline railways.

Keywords: hopper wagon for transporting pellets and agglomerate, rolling stock, dump car, iron ore pellets, gondola-car.