

**В. С. Дорошенко<sup>1</sup>,  
І. А. Шалевська<sup>1</sup>,  
О. Б. Янченко<sup>2</sup>**

## **ВІДНОВЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ: РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ЛИВАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України  
<sup>2</sup> ТОВ «ЗГАР»

*У статті розглянуто поточний стан транспортної інфраструктури України з негативним впливом на неї військової агресії, підкреслюючи ключову логістичну роль залізничного і трубопровідного транспорту. Ці сектори є найбільш металоємними та їхня відбудова вимагає системної модернізації виробництва. Автори підкреслюють, що відновлення інфраструктури мусить йти паралельно з розвитком вітчизняної промисловості. Для цього потрібні нові технології, які дозволять виготовляти багатофункціональні металовироби, здатні витримувати корозію, високе зношування, тиск та динамічні навантаження. Ключову роль тут має відіграти ливарна галузь, яка здатна забезпечити країну базовими литими деталями. Розглянуто підходи до модернізації залізничного транспорту (понад 60% вантажообігу). Основна увага приділена вагонному литву – силовим елементам візків (рамам, балкам, хомутам, буксам). Обґрунтовано доцільність впровадження інноваційної технології лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ-процес), для виробництва цього габаритного литва. ЛГМ-процес є ефективнішим за традиційні методи, оскільки скорочує виробничі площі у 2...4 рази, знижує енергоспоживання удвічі, а також дозволяє зменшити масу виливків на 5...10% та скоротити фінішну обробку на 40...60%. Досвід ФТІМС НАН України підтверджує вигідність використання ЛГМ-технології для вагонних виливків. Подальші дослідження сфокусовані на впровадженні високоміцних чавунів, систем цифрового моделювання (CAE) та 3D-друку ливарних пористих моделей для лиття методом ЛГМ легких і надійних металоконструкцій.*

*Також проаналізовано потреби трубопровідного транспорту (близько 46 тис. км мереж), де головна проблема – це знос запірної арматури в агресивних середовищах. Вказано на необхідність переходу від застарілих чавунів (СЧ) до високоміцних чавунів та легованих сталей. Акцентовано увагу на проблемі імпорту неякісної арматури, яка має занижену товщину стінок і масу, що призводить до частих аварій. У статті підсумовано, що розвиток вітчизняного ливарництва є стратегічною необхідністю, а модернізація цехів, впровадження автоматизації та цифрових технологій є ключовими кроками для забезпечення потреб України у критичних литих деталях та успішної інтеграції в європейську транспортну систему.*

**Ключові слова:** транспортна інфраструктура, вагонне литво, трубопровідна арматура, металоємність, ливарна галузь, лиття за моделями, що газифікуються.

### **Вступ**

Транспортний комплекс України є життєво важливим елементом економіки, що забезпечує логістичні потреби та інтеграцію в міжнародні ринки. Проблема полягає в тому, що військова агресія завдала значних руйнувань інфраструктурі, внаслідок чого повоєнне відновлення виробничого сектору та стійкості країни неможливе без паралельної реконструкції та модернізації логістичної мережі [1, 2]. Аналіз досліджень та публікацій [1...4] свідчить, що значна увага приділяється аспектам відновлення, зокрема найбільш металоємних галузей – залізничного та трубопровідного транспорту, критично важливих для логістики. Проте вибір конкретних інноваційних технологій для забезпечення економічно вигідного та якісного виробництва важливих литих металовиробів залишається недостатньо висвітленим. Мета статті полягає в комплексному обґрунтуванні оптимальних металургійних та машинобудівних технологій, насамперед інноваційних ливарних процесів, для швидкого та економічного забезпечення потреб транспортної інфраструктури у високоміцних литих деталях та демонстрації їхньої економічної доцільності на прикладі ключових елементів залізничного та трубопровідного транспорту.

### Аналіз сучасного стану транспортного комплексу в Україні

Транспортний комплекс України об'єднує залізничний (21 тис. км залізничних колій), автомобільний, авіаційний, морський, річковий та трубопровідний транспорт (майже 46 тис. км нафто- і газопроводів). Частка суб'єктів господарювання транспорту в загальній кількості суб'єктів господарювання за період 2017...2023 рр. відображена на рис. 1, а питома вага видів транспорту в перевезеннях продемонстрована в табл. 1 та на рис. 2 [3, 4].



Рис. 1. Частка суб'єктів господарювання транспорту в загальній кількості суб'єктів господарювання [3]

Таблиця 1

Питома вага окремих видів транспорту в перевезенні вантажів, % [3]

Вид транспорту	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Залізничний	53,4	51,6	46,3	61,2	51,3	31,1	55,6
Автомобільний	27,6	29,9	36,1	15,7	32,1	35,4	52,9
Водний	0,9	0,9	0,9	1	1	0,7	0,8
Авіаційний	0,2	0,15	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3
Трубопровідний	18,1	17,5	16,7	23,1	16,8	10,7	12,6

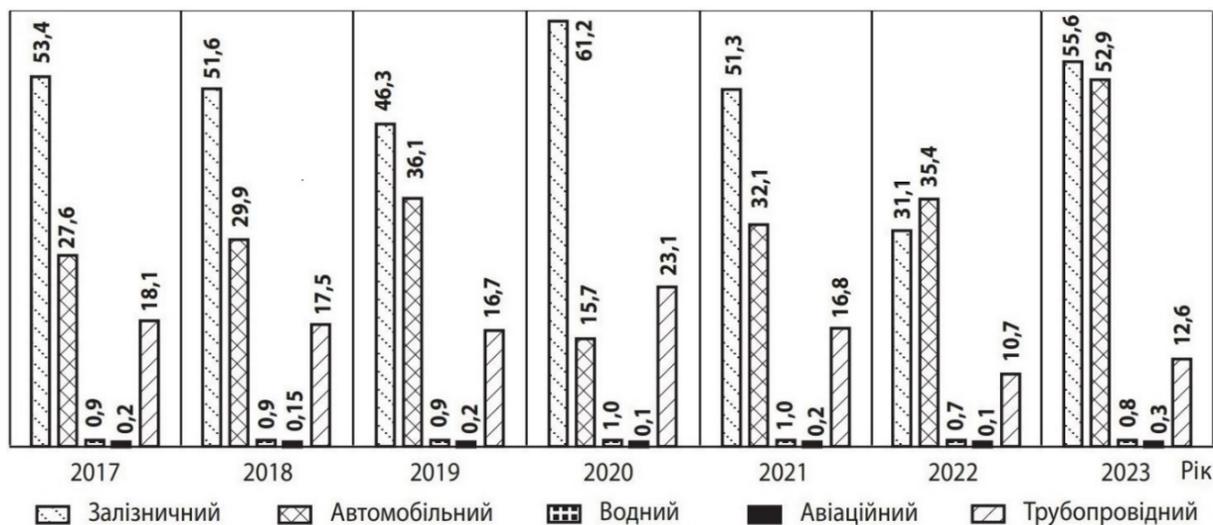


Рис. 2. Питома вага видів транспорту у перевезенні вантажів, % [3]

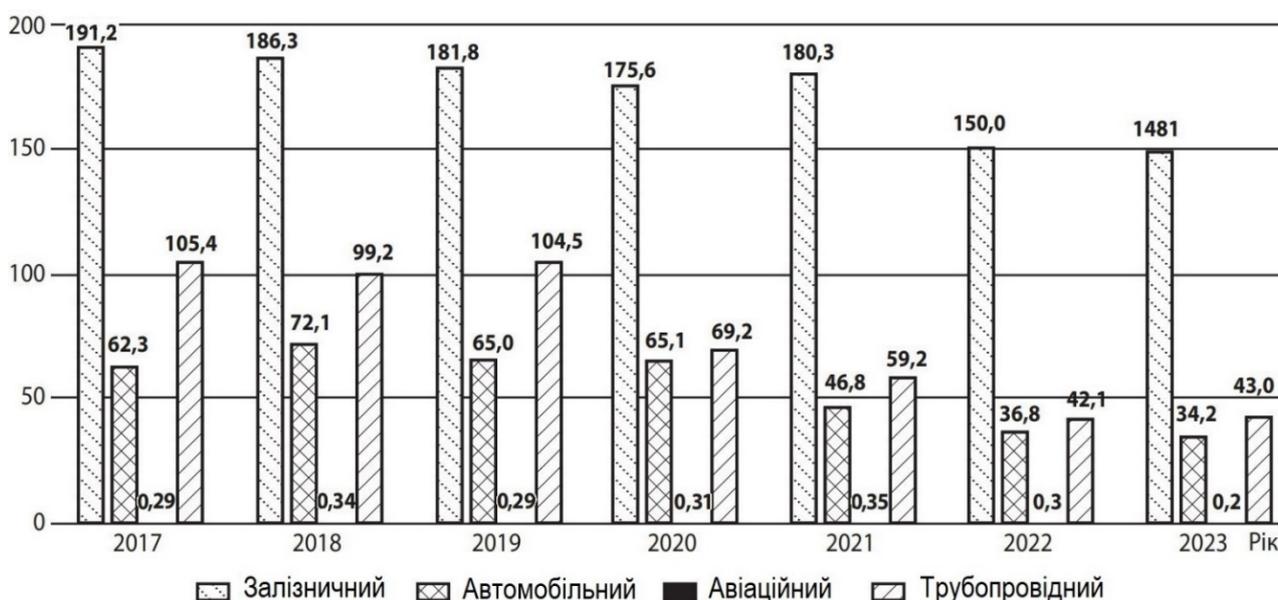
Обсяги перевезення вантажів різними видами транспорту у мільйонах тон зазначено у табл. 2.

Таблиця 2

Обсяг перевезення вантажів (млн т) та вантажообіг основними видами транспорту (млрд т-км) [3]

Вид транспорту	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.
<i>Перевезено вантажів, млн т</i>							
Транспорт, всього	635,9	624,8	676	630,2	621,3	618,2	627,9
залізничний	339	332	313	306	314,3	150	351,2
автомобільний	175,6	187,1	244,2	191,4	224	317,5	327,9
авіаційний	0,17	0,13	0,09	0,1	0,1	0,09	0,4
трубопровідний	115	109	112	86,5	77,6	67,4	65,3
<i>Вантажообіг, млрд ткм</i>							
Транспорт, всього	343	331,7	338,9	290,3	289,6	256,7	226,3
залізничний	191,2	186,3	181,8	175,6	180,3	150	148,4
автомобільний	62,3	72,1	65,0	65,1	46,8	36,6	34,2
авіаційний	0,28	0,34	0,29	0,31	0,35	0,3	0,2
трубопровідний	105,4	99,2	104,5	69,2	59,2	42,1	43

Найбільшу частку вантажообігу в країні традиційно складав залізничний транспорт, за яким йшли трубопровідний, автомобільний та авіаційний види (рис. 3). Перші два види, залізничний та трубопровідний, є ключовими елементами інфраструктури та економіки України [2, 5, 6]. Вони належать до найбільш металоємних та потребують значних інвестицій у своє відновлення та модернізацію. Для цього необхідна розробка та впровадження сучасних технологій одержання багатофункціональних металовиробів, здатних працювати в умовах дії корозії, абразивного зносу, високого тиску та змінних навантажень. Важливим напрямом є створення високоміцних залізвуглецевих сплавів у поєднанні з новими ливарними процесами для підвищення довговічності та надійності металопродукції.



Рису. 3. Вантажообіг чотирьох видів транспорту, млрд т-км [3]

Загалом, спостерігався стабільний ринок перевезень різних вантажів залізницею у 2017...2021 рр., проте у період 2022...2023 рр. відбулися значні зміни, які відображено у табл. 3 та на рис. 4 [3].

Таблиця 3

## Перевезення вантажів залізничним транспортом за видами вантажів, млн т [3]

Вид вантажу	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.
1	2	3	4	5	6	7	8
Перевезено вантажів	339,5	322,3	312,9	305,5	314	150	351,2
з них відправлено	227,3	267,6	262,6	261	262	244	253
Транзит	62,2	54,7	50,3	44,5	49,1	45,2	48,5
у т.ч. за номенклатурою вантажів							
• кам'яного вугілля	43,9	42,7	40	34,0	50,2	29,5	26,2
• коксу	5,0	4,9	4,3	4,2	5,0	4,3	4,9
• нафти і нафтопродуктів	3,8	3,5	3,3	2,3	2,4	2,1	2,2
• руди залізної і марганцевої	64,9	66,5	68,3	73,3	77,6	31,7	27,5
• чорних металів	20,8	20,1	19,1	18,2	21,7	9,2	8,2
• брухту чорних металів	3,1	3	2,4	2,0	2,2	2,4	2,5
• лісових вантажів	2,8	2,4	1	0,7	1,5	1,2	1,4
• хімічних і мінерал. добрив	3,5	3,4	4,4	4,9	10,7	5,8	5,2
• зерна і продуктів перемелу	35,7	32,9	39,8	34,4	33,6	28,9	30,6
• цементу	5,9	5,7	5,4	5,7	6,4	6,3	7,1
• будівельних матеріалів	41,2	35,9	29,1	38,2	65,7	22,8	29,6
• інших вантажів	46,7	46,6	45,5	43,4	27,3	28,5	29,9

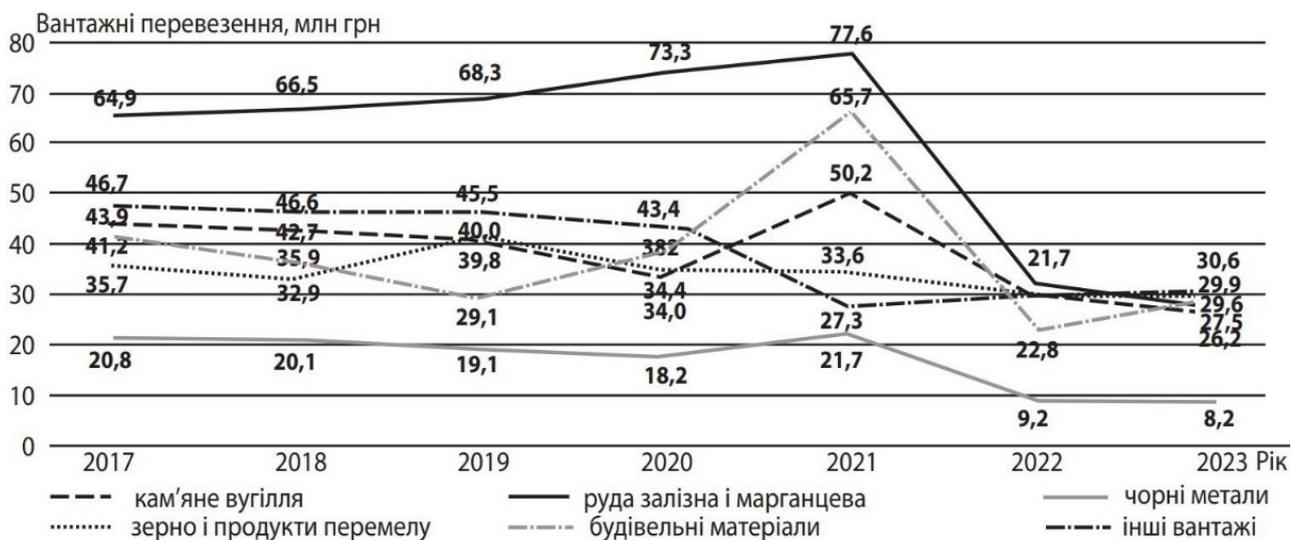


Рис. 4. Перевезення залізничницею за видами вантажів: кам'яного вугілля, зерна та продуктів перемелу, руди залізної та марганцевої, будівельних матеріалів, чорних металів та інших вантажів [3]

Аналіз сучасного стану транспортного комплексу України є важливим етапом для розробки стратегії його відновлення у повоєнний період. Особливої уваги заслуговують вантажний залізничний та трубопровідний транспорт, які відіграють ключову роль у логістиці й економіці країни. Відновлення та модернізація цих металоємних видів транспорту потребує розробки інноваційних ливарних технологій, необхідних для зміцнення транспортної інфраструктури та її стійкого подальшого розвитку. Для цих найбільш металоємних галузей проводиться оцінка дефіциту базових металевих, зокрема литих деталей, та адаптація найбільш прогресивних технологій їх виготовлення, у тому числі із застосуванням комп'ютерного моделювання та 3D-друку.

### Залізничний транспорт та ливарні технології

Залізничний транспорт є основним видом транспорту в Україні, забезпечуючи понад 60% вантажообігу [7]. Виробництво вагонного литва є одним із найбільших металоемних та трудомістких процесів. Розкриття потенціалу новітніх ливарних технологій дозволяє зменшити вагу деталей без втрати міцності, що є критичним для підвищення ефективності транспорту [8].

Однією з найбільш затребуваних позицій для вагонобудування є група виливків транспортних візків рухомого складу. Основою для виробництва або ремонту вагона є вагонокомплект із середньою масою до 5 т [9]. Основним виробником вагонного лиття в Україні є «Кременчуцький сталеливарний завод» (м. Кременчук), який застосовує автоматичні формувальні лінії компанії «Kunkel-Wagner», Німеччина.

У роботі [9] описано тенденцію використання нових прогресивних методів лиття під час отримання виливків для вагонів. Лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), для отримання крупного вагонного литва має ряд переваг серед процесів із такими видами піщаного формування, як ПГФ (піщано-глинясті форми), ХТС (холоднотвердні суміші) та ВПФ (вакуумно-плівкова формовка). На рис. 5 та 6 зображено порівняльні показники цих 4-х формувальних технологій [9], враховуючи, що у перших трьох для виливків типу рама/балка застосовують стрижні з ХТС зі зв'язувальними компонентами, а під час ЛГМ ці компоненти застосовують лише як добавку у протипригарну фарбу.

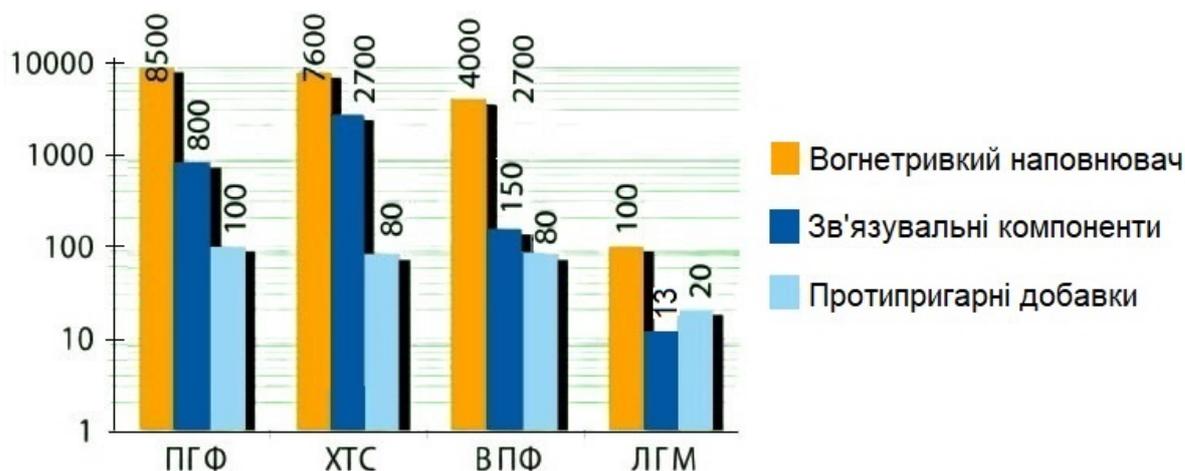


Рис. 5 – Витрати формувальних матеріалів на 1 т придатного лиття (в ум. од.) при формовці: ПГФ – піщано-глиняста форма; ХТС – холоднотвердна суміш; ВПФ – вакуумно-плівкова формовка та ЛГМ [9]

Продовжуючи розгляд інноваційних ливарних технологій, зазначимо, що у обох процесах: ЛГМ та ВПФ застосовують вакуумовані форми з сухого піску без зв'язувальних компонентів. Це є одним з останніх (з другої половини ХХ століття) принципово нових підходів до створення ресурсоефективних та екологічних ливарних способів. Незважаючи на ці спільні властивості, ЛГМ-процес демонструє низку вагомих переваг над ВПФ-технологією [9]. Порівняно з ВПФ, у ЛГМ процесі значно вищою є стійкість прес-форм для виробництва ливарних моделей з пінополістиролу (ППС), бо ППС не має абразивного впливу на оснастку. При цьому вартість виготовлення прес-форм для ЛГМ машинним способом порівнянна з вартістю стрижневої та модельної оснастки для традиційного формування, включно з ВПФ. Крім того, маса виливків при ЛГМ на 5...10% менша порівняно з ВПФ. Технологія ЛГМ забезпечує якість поверхні виливків, близьку до рівня лиття за виплавлюваними моделями (ЛВМ). Це важливо як для зовнішнього товарного виду, так і для деталей, що працюють під навантаженням. Також ЛГМ відзначається значною гнучкістю до зміни номенклатури та серійності виробництва, гарантує стабільність розмірів моделі та ключову перевагу – відсутність роз'єму форми [10]. Економічні показники ливарного цеху продуктивністю 5 тис. т придатних виливків на рік, отриманих різними способами лиття, представлені на рис. 6.

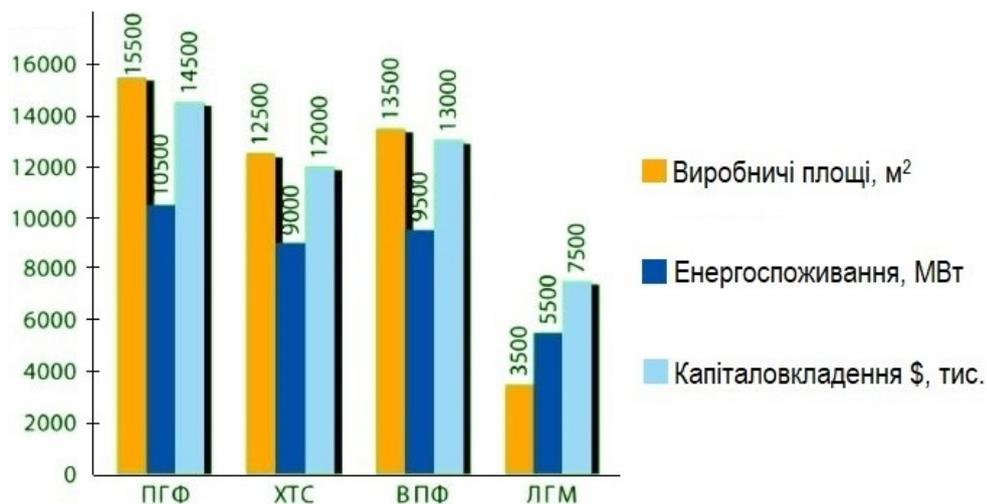


Рис. 6 – Економічні показники ливарного цеху продуктивністю 5 тис. т придатних виливків на рік (позначення способів лиття, як на рис. 5) [9]

З екологічної та економічної точок зору, ЛГМ-процес є значно вигіднішим. Відсутність зв'язувальних компонентів у формувальній суміші дозволяє її багаторазове використання. Трудомісткість формування при ЛГМ нижча, оскільки відсутні такі операції, як протяжка моделей при формовці, складання півформ та встановлення стрижнів. Також трудомісткість фінішних операцій (обрубка та зачистка) скорочується на 10...20% під час одиничного виробництва та на 40...60% під час серійного лиття, що є істотною економією.

Впровадження ЛГМ також дає відчутну вигоду у плані використання виробничих площ та капітальних витрат. При серійному виготовленні виливків виробничі площі скорочуються у 2...4 рази за рахунок виключення стрижневої та дільниць підготовки оборотних формувальних сумішей. Також удвічі зменшується площа термообрубного відділення, на 20...30% – формувального відділення, що відповідно скорочує складські площі початкових формувальних матеріалів. Витрата електроенергії знижується у 2 рази. Загалом, капітальні витрати при будівництві цеху ЛГМ скорочуються у 1,5...2,5 рази.

При остаточному розрахунку економічної ефективності застосування ЛГМ-процесу замість традиційних способів лиття слід враховувати сукупність факторів. До них належать: скорочення витрат на придбання та експлуатацію обладнання, значне зменшення витрат енергоносіїв, зниження обсягів технологічних відходів виробництва, а також суттєве зменшення витрат на вентиляцію, опалення та охорону навколишнього середовища [9, 11]. Таким чином, ЛГМ, на сьогоднішній день є одним з найбільш перспективних і економічно вигідних процесів виготовлення габаритних виливків транспортного візка вантажних вагонів. Приклади конструкцій металовиробів, що використовуються у залізничних вагонах, показано на рис. 7а. Серед них ключовими є литі деталі ходового візка, які показано на рис. 7б [12].

Серед цих критично важливих елементів (зображені зверху вниз) можна виділити: хомут тяговий – деталь, що є частиною автозчепного пристрою та слугує для передачі тягового та ударного навантаження; надресорна балка – основний силовий елемент візка вагона, який сприймає вертикальні навантаження від кузова та передає їх на ресорне підвішування та буксові вузли; бічна рама візка – жорстка конструкція, що утримує букси, ресорне підвішування та інші компоненти ходової частини, забезпечуючи необхідну геометрію візка; букса (нижня циліндрична деталь) – елемент, що використовується для розміщення підшипників осей колісної пари та передавання навантаження від вагона безпосередньо на колісну пару; корпус автозчепу – ключова частина механізму, що забезпечує надійне зчеплення вагонів.

В умовах повоєнного відновлення економіки України актуальним пріоритетом стає нарощування виробництва вантажних вагонів із застосуванням інноваційних металургійних та металообробних технологій, серед яких значний досвід досягнутий при застосуванні ЛГМ-процесу. Практичне підтвердження можливостей ЛГМ в Україні демонструють дослідно-промислові приклади виливків інституту ФТІМС НАН України, що успішно отримані у ливарному цеху інституту та показані на рис. 8: а) хомут тяговий; б) букса (у двох видах з моделлю); в) надресорна балка. Варіанти виготовлення моделей бічної рами показано: г) модель від ФТІМС НАН України, д) виготовлення аналогічної моделі на одному з вагонобудівних заводів Китаю, що підкреслює глобальний тренд застосування цієї технології; а також є) комплект бічних рам при транспортуванні краном.



Рис. 7. Металоконструкції вантажного вагону (а) та основні литі деталі ходового візка (б) [12]



Рис. 8. Приклади виготовлення вагонних виливків: а – хомут тягловий; б – бокса (модель та виливки у двох видах); в – надресорна балка; г, д – моделі бічної рами, а також е – комплект бічних рам під час транспортуванні краном [12]

Після аналізу потреб у базових литих деталях для транспортного візка вантажних вагонів та прикладів їх виливання за ЛГМ-процесом подальші дослідження спрямовано на зменшення ваги литих деталей без втрати їх міцності, впровадження високоміцних сучасних сплавів, удосконалення конструкції ливарних моделей із використанням цифрових технологій, поліпшення ливниково-живильних систем модельних кластерів програмними методами, армування виливків, а також розробку ефективних режимів термообробки отриманих виливків з метою оптимізації їх металевої структури.

Один з напрямів удосконалення технології ЛГМ для виливків транспортного візка полягає у поєднанні традиційних ливарних процесів з адитивними технологіями, що відкриває нові можливості для створення легших та міцніших конструкцій [10, 13]. Це сприятиме підвищенню ефективності вантажних перевезень, зменшенню експлуатаційних витрат, а також забезпеченню конкурентоспроможності українського вагонного машинобудування. Інтеграція передових технологій у виробництво транспортних візків відповідає стратегічному напрямку розвитку цієї галузі.

Крім того, розвиток вантажних перевезень за напрямком Україна – Європа залізничним транспортом потребує розробки сучасних конструкцій вантажних вагонів із візками інноваційних конструкцій для трансєвропейських перевезень. Залежно від комплектації, вагони можуть бути як із звичайними колісними парами, так і колісними парами з розсувними колесами, що дозволяє долати перехід з однієї колії (стандарту 1520 мм) на колію європейського стандарту (1435 мм), а також і у зворотному напрямку без зупинок [14]. Ключова роль у серійному виготовленні таких візків належить ливарному виробництву.

## Трубопровідний транспорт та ливарні технології

В Україні за 2023 рік вантажообіг трубопровідного транспорту склав 43,0 млрд т-км та займає друге місце за цим показником після залізничного транспорту [3], забезпечуючи транспортування рідини та газів. Основними викликами у цьому секторі є знос запірної арматури та потреба використання високоміцних матеріалів для роботи в агресивних середовищах [15]. Транспортування рідин, газів та агресивних середовищ з абразивними домішками вимагає особливого підходу до вибору матеріалів запірної арматури та з'єднувальних елементів. У світовій практиці для цих цілей широко використовують залізобуглецеві сплави – від традиційних сірих чавунів до високоміцних чавунів з кулястим графітом та легованих сталей [2, 16]. До запірної арматури та елементів з'єднання трубопроводів висуваються дедалі жорсткіші вимоги. Їхня роль у системах трубопроводів для транспортування рідких і газових середовищ, насичених абразивами й агресивними хімічними домішками, залишається критичною як для безпеки, так і для економічної ефективності. Для досягнення оптимальних конструкторських та технологічних рішень, що поєднують довговічність, економічність та екологічність, необхідний ретельний аналіз досвіду, накопиченого вітчизняними та зарубіжними виробниками.

Види трубопровідної арматури розрізняють за її функціональним призначенням, відповідно до якого вона поділяється на кілька великих сегментів: запірна, зворотна, запобіжна, розподільно-змішувальна, регулююча, відключаюча (захисна) [16]. Основними типами арматури є засувка, клапан, кран та дисковий затвор. Міжнародний досвід демонструє, що для арматури, яка функціонує в умовах середнього та високого тиску, оптимальними є чавуни з кулястим графітом (GGG40, GGG50), які поєднують міцність із стійкістю до динамічних навантажень. Одним із ключових викликів є вплив абразивів та агресивних середовищ, оскільки мікротріщини, корозія та інші деформації значно знижують термін служби металовиробів, вимагаючи додаткових витрат на їх заміну чи обслуговування.

Дослідники та виробники зосереджуються на покращенні властивостей залізобуглецевих сплавів, використанні сучасних технологій термічної обробки та інноваційних методах лиття. Для агресивних середовищ із високим вмістом абразивних частинок застосовують спеціальні покриття (наприклад, поліуретанові або керамічні), а також леговані сталі з добавками хрому та нікелю. Останнім часом набувають популярності адитивні технології, які дозволяють створювати деталі зі складними внутрішніми каналами та підвищеною зносостійкістю.

В Україні виробництво запірної арматури традиційно орієнтоване на чавуни марки СЧ200...СЧ400 (ДСТУ 8833:2019), які добре зарекомендували себе для роботи під низьким та середнім тиском. Однак для екстремальних умов (наприклад, при транспортуванні нафти з можливими абразивними домішками або хімічно активних речовин) вітчизняні матеріали часто потребують покращення.

Серед перспективних напрямів для української галузі є впровадження сучасних залізобуглецевих сплавів з підвищеною зносостійкістю та використання вакуумованих піщаних форм (зокрема, при ЛГМ) для виробництва точних виливків із високою чистотою поверхні. Крім того, важливим кроком стає інтеграція цифрових технологій – від комп'ютерного моделювання ливарних процесів (CAE) до 3D-друку ливарного оснащення. Це дозволить українським підприємствам конкурувати з зарубіжними виробниками, особливо в нішах спеціалізованої арматури для складних умов експлуатації. Приклади такого литва за ЛГМ-процесом, який впроваджується у вітчизняних та зарубіжних ливарних цехах інститутом ФТІМС НАН України, показано на рис. 9 [16].

Інженерно-технічні досягнення українських ливарних підприємств дозволяють випускати конкурентоспроможну продукцію, яка відповідає міжнародним стандартам. Модернізація ливарних цехів, впровадження енергоефективних та більш екологічно чистих методів виробництва є важливим кроком у розвитку галузі. Збільшення попиту на трубопровідну арматуру, стійку до високих тисків та хімічно агресивних середовищ, спонукає до пошуку нових конструктивних рішень. Вітчизняний досвід у поєднанні із запозиченням найкращих закордонних практик дозволяє створювати вироби, здатні витримувати найскладніші умови експлуатації. Розвиток ливарного виробництва в Україні є не лише промисловою, а й стратегічною метою. Виробництво запірної арматури з високими експлуатаційними характеристиками відкриває нові можливості для експорту, сприяючи економічному зростанню країни. Підтримка інновацій, наукових досліджень та впровадження сучасних технологій є запорукою успіху цієї галузі у майбутньому.



Таке зменшення маси засувок задля економії металу, призводить до невідповідності їх реальним умовам експлуатації. Від цього збитків зазнають як українські виробники, так і споживачі цієї продукції. Через неякісну запірну арматуру, по-перше, виникає загроза аварій водопровідних та інших мереж, а по-друге, скорочуються строки безаварійної експлуатації систем [17].

Таким чином, поєднання світових технологій з адаптацією до місцевих умов виробництва [10] та застосування описаного у статті та проілюстрованого прикладами (рис. 8, 9) досвіду відкриває нові можливості для українського ливарного сектору, сприяючи ефективній конкуренції з імпортною продукцією. Для реалізації цього потенціалу необхідні системні інвестиції у дослідження матеріалів, удосконалення технологій, модернізацію обладнання та підготовку фахівців, які зможуть працювати з інноваційними методами виробництва.

## Висновки

Відновлення транспортної інфраструктури України є стратегічним завданням, яке потребує активної участі та системної модернізації ливарної галузі. Використання сучасних технологій лиття, зокрема ЛГМ-процесу, та адаптація виробництва до міжнародних стандартів є вирішальними факторами для підвищення ефективності транспорту та інтеграції України в європейську транспортну систему. Вітчизняні науково-технічні інститути та ливарні підприємства мають технічні та кадрові можливості для задоволення внутрішнього запиту на вагонне литво та високоякісну трубопровідну арматуру. Фінансова підтримка модернізації ливарних цехів, впровадження автоматизованих та енергоефективних технологій, а також перехід до цифрових методів виробництва є ключовими кроками для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності галузі на світовому ринку та протидії неякісному імпорту [6, 8, 10, 12].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. М. Бойченко, «Відновлення та розвиток транспортної інфраструктури у повоєнний період», *Економічний вісник Донбасу*, № 3(73), с. 132-137, 2023. [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-3\(73\)-132-137](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-3(73)-132-137).
- [2] С. Л. Шульц та О. М. Луцків, «Проблеми функціонування транспортної інфраструктури та логістики України в умовах воєнного часу», *Регіональна економіка*, № 2(104), с. 85-93, 2022. <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2022-2-9>.
- [3] С. Т. Пилецька, І. Ю. Лункіна та О. І. Волков, «Сучасний стан і перспективи розвитку транспортного комплексу в Україні», *Проблеми економіки*, № 4, с. 81-88, 2024. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-4-81-88>.
- [4] О. Б. Янченко та В. С. Дорошенко, «Огляд транспортного комплексу України з метою визначення ключових і металосмішних складових для відновлення та модернізації», у *Мат. LIV наук.-техн. конф. підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025)*, Вінниця: ВНТУ, 2025, с. 2950-2953.
- [5] Кабінет Міністрів України, «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року», Розпорядження від 30.05.2018 № 430-р. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p>.
- [6] О. Комчатних, С. Петровська та Н. Редько, «Сучасний стан та перспективи розвитку транспортної інфраструктури в Україні», *Причорноморські економічні студії*, вип. 64, с. 11-16, 2021. <https://doi.org/10.32843/бсес.64-2>.
- [7] Л. І. Райчева, «Розвиток інститутів залізничного транспорту у контексті структуризації і модернізації національної економіки», *Бізнес-Навігатор*, № 1, с. 46-51, 2024. <https://doi.org/10.32782/business-navigator>.
- [8] В. Хаустова, О. Бойко та Н. Трушкіна, «Вектори підвищення рівня інноваційності та інвестиційної привабливості транспортно-логістичної інфраструктури національної економіки України», *Проблеми економіки*, № 3 (53), с. 85-96, 2022. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2022-3-84-97>.
- [9] В. А. Болюх та І. О. Шинский, «Технологические особенности получения отливок транспортной тележки грузовых вагонов», *Металл и литье Украины*, № 3, с. 29-32, 2010.
- [10] В. С. Дорошенко та О. Б. Янченко, «Приклад ливарної технології виробництва широкої номенклатури металоконструкцій для подальшого масштабування в процесі розбудови машинобудування», *Вісник машинобудування та транспорту (Journal of Mechanical Engineering and Transport)*, т. 10, № 2, с. 11-20, 2024. <https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.11>.
- [11] В. С. Дорошенко та С. І. Клименко, «Сучасні підходи до виробництва високотехнологічних литих заготовок для вітчизняного вагонобудування», у *Литво. Металургія. 2025: Мат. XXI Міжнар. науково-практичної конференції (27-29 травня 2025 р., м. Харків-м. Київ)*, Харків: НТУ «ХПІ», 2025, с. 85-88.
- [12] В. С. Дорошенко та О. Б. Янченко, «Визначення базових литих деталей для транспортного візка вантажних вагонів», у *Мат. LIV наук.-техн. конф. підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025)*, Вінниця: ВНТУ, 2025, с. 2972-2974.
- [13] П. Б. Калюжний та ін., «3D-генерація пористих структур для друку ливарних моделей, що газифікуються в ливарній формі», *Нові матеріали і технології в машинобудуванні*, № 5, с. 21-28, 2024. <https://doi.org/10.20535/2519-450X.5.2024.319032>.
- [14] С. С. Мямлін, «Створення сучасних конструкцій вантажних вагонів для трансєвропейських перевезень», у *2-а міжнар. наук.-техн. конф. «Прогресивні технології засобів транспорту» (05 - 06 грудня 2024 р.)*, Харків: УкрДУЗТ, 2024, с. 72-74.
- [15] О. Ю. Будякова та Р. Ю. Слободенюк, «Розвиток смарт-міст в перспективі інтеграції транспортної інфраструктури України в Європейський економічний простір», *Економіка і управління*, вип. 2, с. 9-17, 2025. Вип. 2. с. 9-17. <https://doi.org/10.32782/2312-7872.2.2025.1>.

[16] В. С. Дорошенко, С. І. Клименко та Ю. А. Федюк, «Запірна трубопровідна арматура з залізовуглецевих сплавів: світовий досвід та перспективи для України», у *Литво. Металургія. 2025: Мат. XXI Міжнародної науково-практичної конференції (27-29 травня 2025 р., м. Харків-м. Київ)*, Харків: НТУ «ХПІ», 2025, с. 88-92.

[17] Е. С. Попов, В. Л. Мазур та О. Й. Шинський, «Удосконалення ливарного виробництва в Україні», у *Литво. Металургія, 2021: Мат. XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Литво-2021»*, Запоріжжя, 2021, с. 160–164.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2025 р.

**Дорошенко Володимир Степанович** – д-р техн. наук, ст. наук. співробітник, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>, e-mail: [doro55v@gmail.com](mailto:doro55v@gmail.com)

**Шалевська Інна Анатоліївна** - д-р техн. наук, доцент, заст. директора, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>, e-mail: [innashalevska@gmail.com](mailto:innashalevska@gmail.com)  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

**Янченко Олександр Борисович** – канд. техн. наук, директор ТОВ «ЗГАР», м. Вінниця. <https://orcid.org/0000-0002-3888-3772>, e-mail: [1961yab@gmail.com](mailto:1961yab@gmail.com)

ТОВ «ЗГАР»

V. S. Doroshenko<sup>1</sup>

I. A. Shalevska<sup>1</sup>

A. B. Yanchenko<sup>2</sup>

## RECONSTRUCTION AND MODERNIZATION OF UKRAINE'S TRANSPORT INFRASTRUCTURE: THE ROLE OF INNOVATIVE CASTING TECHNOLOGIES

<sup>1</sup>Physico-technological institute of metals and alloys National academy of sciences of Ukraine, c. Kyiv

<sup>2</sup>ZGAR LLC

*This article reviews the current state of Ukraine's transport infrastructure under the negative impact of military aggression, highlighting the railway and pipeline transport sectors as playing a key logistical role. These sectors are the most metal-intensive, and their reconstruction necessitates systemic production modernization. The authors emphasize that infrastructure recovery must proceed in parallel with the development of domestic industry. This requires new technologies for manufacturing multifunctional metal products capable of withstanding corrosion, high wear, pressure, and dynamic loads. The foundry industry is essential in this process, as it can supply the country with critical cast components. The paper examines approaches to modernizing railway transport (accounting for over 60% of freight turnover). The focus is on railcar castings—the high-strength elements of bogies: frames, bolsters, yokes, and axle boxes. The feasibility of implementing the innovative Lost Foam Casting (LFC) technology (known as ЛГМ-процес in Ukrainian) for manufacturing these large-sized castings is substantiated. The LFC process proves more efficient than traditional methods, as it reduces production floor space by 2–4 times, halves energy consumption, allows for a 5–10% reduction in casting mass, and cuts down finish machining by 40–60%. The experience of the FTMS NAS of Ukraine confirms the advantages of using LFC technology for railcar components. Further research focuses on introducing high-strength cast irons, Computer-Aided Engineering (CAE) systems, and 3D printing of porous casting patterns for the LFC method to create light and reliable structures.*

*Furthermore, the needs of the pipeline transport sector (with approximately 46 thousand km of networks) are analyzed, where the main challenge is the wear and tear of shut-off valves in aggressive environments. The necessity of shifting from outdated grey cast irons (C4) to high-strength cast irons and alloy steels is indicated. Attention is drawn to the problem of importing substandard valves with reduced wall thickness and mass, which often leads to failures. The article concludes that the development of the domestic foundry industry is a strategic necessity. Modernization of workshops, implementation of automation, and digital technologies are key steps to meet Ukraine's demand for critical cast parts and ensure successful integration into the European transport system.*

**Keywords:** transport infrastructure, railcar casting, pipeline valves, metal intensity, foundry industry, lost foam casting.

**Volodymyr Doroshenko**, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>, e-mail: [doro55v@gmail.com](mailto:doro55v@gmail.com)

**Inna Shalevska, Dr. Sci. (Engin.)**, Docent, Deputy Director, Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>, e-mail: [innashalevska@gmail.com](mailto:innashalevska@gmail.com)

**Oleksandr Yanchenko**, PhD in Technical Sciences, Director of ZGAR LLC, Vinnytsia, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-3888-3772>, e-mail: [1961yab@gmail.com](mailto:1961yab@gmail.com)