

РИБАЛЬЧЕНКО Л. І., к.т.н., доцент

(Український державний університет залізничного транспорту)

**Трансформація управління вантажопотоками на залізниці на основі цифрових платформ**

Розглянуто проблеми управління вантажопотоками на залізничному транспорті з акцентом на цифровізацію процесів і впровадження блокчейн-технологій. Запропоновано оптимізаційну модель, яка враховує вартість перевезень, час доставлення, пропускну спроможність ділянок та ймовірність затримок. Проаналізовано ефективність застосування цифрових платформ і автоматизованих систем для зниження витрат і покращення прозорості логістики. У статті надано практичні рекомендації щодо інтеграції блокчейну та цифрових рішень у систему управління вантажопотоками. Результати сприяють підвищенню ефективності залізничної логістики.

Ключові слова: управління вантажопотоками, цифровізація залізничної логістики, блокчейн-технології в перевезеннях, оптимізація перевезень на залізничному транспорті, автоматизація логістичних процесів, цифрові платформи для залізниць, математичні моделі перевезень, прозорість логістичних операцій, зниження витрат на перевезення, інтеграція цифрових рішень у залізничний транспорт. багатофакторним завданням, що потребує постійного вдосконалення.

Вступ.

Залізничні вантажні перевезення є основною ланкою транспортної інфраструктури, що забезпечує безперебійний рух товаропотоків як у межах країн, так і на міжнародному рівні. Важливою складовою цього процесу є контроль за вантажопотоками, який впливає на своєчасність, безпеку та економічну ефективність перевезень. Зі зростанням обсягів залізничних перевезень і розвитком світової логістики виникає необхідність впровадження сучасних технологій, здатних автоматизувати і оптимізувати управління вантажопотоками.

Останніми роками залізничний сектор активно впроваджує цифрові технології, серед яких головну роль відіграють цифрові платформи та блокчейн. Використання цих інструментів дає змогу покращити моніторинг перевезень, знизити витрати, мінімізувати ризики людського фактора та забезпечити прозорість усіх операцій. Блокчейн-технології особливо актуальні для обліку вантажів, контролю за логістичними процесами та управління документальним супроводом перевезень.

У статті розглянуто сучасні підходи щодо використання цифрових платформ і блокчейну в управлінні вантажопотоками на залізничному транспорті. Особливу увагу приділено аналізу основних факторів, що впливають на ефективність впровадження цих технологій, а також перспективам їхнього подальшого розвитку в Україні та світі.

Постановка проблеми дослідження.

Залізничний транспорт є важливою ланкою у сфері вантажних перевезень, забезпечуючи транспортування значних обсягів товарів на великі відстані з високим рівнем надійності та економічної ефективності. Водночас управління вантажопотоками на залізничному транспорті залишається складним

© РИБАЛЬЧЕНКО Л. І., 2026

Попри наявність значної кількості досліджень у сфері логістики та цифровізації транспорту, недостатньо опрацьованими залишаються питання комплексної інтеграції цифрових платформ і блокчейн-технологій у єдину систему управління вантажопотоками, а також оцінювання їхнього синергетичного ефекту. Зокрема, потребують подальшого дослідження:

- узгодження роботи різномірних інформаційних систем у межах залізничної інфраструктури;
- забезпечення безперервного обміну достовірними даними між усіма учасниками логістичного процесу;
- адаптація існуючих бізнес-процесів до умов цифрової трансформації;
- оцінювання економічної доцільності впровадження інноваційних технологій.

Однією з головних проблем є недостатній рівень автоматизації процесів контролю та координації перевезень, що призводить до затримок, неефективного використання рухомого складу і зростання експлуатаційних витрат.

У сучасних умовах цифрові технології відіграють дедалі важливішу роль у модернізації логістичних процесів. Використання цифрових платформ забезпечує централізоване управління перевезеннями, автоматизований збір даних і моніторинг вагопотоків у реальному часі. Водночас впровадження блокчейн-технологій відкриває можливості для підвищення прозорості операцій, захисту інформації та оптимізації документообігу.

Проте, незважаючи на значний потенціал цифровізації, її практичне впровадження у сфері залізничних вантажних перевезень стримуване низкою факторів, серед яких технічна несумісність інформаційних систем, складність інтеграції з

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

наявною інфраструктурою, значні фінансові витрати і недосконалість нормативно-правового забезпечення.

Отже, актуальність дослідження зумовлена необхідністю розв'язання невирішених аспектів інтеграції цифрових платформ і блокчейн-технологій у систему управління вантажопотоками з метою підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасній науковій літературі питання цифровізації залізничного транспорту і управління вантажопотоками розглядають у межах кількох взаємопов'язаних напрямів: впровадження цифрових платформ, використання технологій великих даних і штучного інтелекту, розвиток концепції «цифрового двійника», а також застосування блокчейн-технологій у логістичних процесах.

Значна кількість досліджень присвячена загальним питанням цифрової трансформації транспортної галузі. Зокрема, у роботах С. Сарпа, М. Кузлу, В. Йованович та ін. розглянуто вплив цифровізації, Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту і концепції Industry 4.0/5.0 на розвиток залізничних систем. Автори зазначають, що інтеграція цифрових технологій допомагає підвищити ефективність експлуатації, безпеку та якість транспортних послуг, однак процес цифровізації стримує застаріла інфраструктура і недостатній рівень інвестицій [1].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням цифрових технологій для управління інфраструктурою і технічним обслуговуванням. Так, М. Родрігес-Ернандес, А. Креспо-Маркес, А. Санчес-Ергедас і В. Гонсалес-Пріда аналізують роль великих даних, IoT і аналітичних систем у підвищенні ефективності управління активами залізничного транспорту. У їхніх роботах доведено, що цифровізація сприяє переходу до предиктивного обслуговування та покращує якість управлінських рішень, однак потребує комплексного узгодження технологічних і організаційних змін [2].

Важливе місце в сучасних дослідженнях займають цифрові платформи як інструмент інтеграції логістичних процесів. У роботі [3] розглянуто досвід впровадження цифрових рішень у залізничній логістиці, визначено їхню роль у забезпеченні взаємодії між учасниками транспортного процесу та підвищенні ефективності обробки вантажів. Встановлено, що платформи дають змогу інтегрувати інформаційні потоки та оптимізувати управління перевезеннями, однак їхня ефективність залежить від рівня цифрової зрілості підприємств [3].

У зарубіжних дослідженнях значну увагу приділено концепції «цифрового двійника» та інтелектуальних транспортних систем. Зокрема, у роботах, присвячених аналізу цифрових двійників, доведено, що їх використання забезпечує можливість моделювання процесів у реальному часі, прогнозування технічного стану інфраструктури та

оптимізації вантажопотоків. Водночас основними проблемами залишаються складність інтеграції даних, високі витрати на впровадження та питання кібербезпеки [4].

Загальні тенденції цифровізації логістики відображені також у роботах, присвячених розвитку вантажних перевезень і ланцюгів постачання. У них зазначено, що цифрові технології виконують три основні функції: забезпечення зв'язності, координації і створення доданої вартості в логістичних системах. При цьому особливу увагу приділено інтеграції інформаційних потоків і підвищенню прозорості операцій [5].

Суттєвий науковий інтерес становлять дослідження, присвячені застосуванню блокчейн-технологій у залізничному транспорті. Зокрема, у роботі [6] доведено, що блокчейн може бути ефективно використаний для забезпечення надійного обміну даними, автоматизації документообігу та підвищення прозорості логістичних операцій. Автори виділяють перспективні напрями застосування цієї технології, зокрема у сфері міжнародних перевезень, управління ланцюгами постачання та координації між різними учасниками ринку [6].

Крім того, у низці досліджень розглянуто економічний ефект від впровадження цифрових технологій у залізничному транспорті. Зокрема, доведено, що використання RFID, автоматизованих систем і аналітики даних допомагає знизити витрати, підвищити точність обліку вантажів і покращити конкурентоспроможність залізничних перевезень [5].

Водночас аналіз наукових джерел свідчить, що більшість досліджень зосереджена на окремих технологіях або аспектах цифровізації. Комплексний підхід щодо інтеграції цифрових платформ, блокчейн-технологій, аналітики даних та інтелектуальних систем у єдину систему управління вантажопотоками залишається недостатньо розробленим. Також недостатньо дослідженими є питання оцінювання економічної ефективності їх спільного використання і адаптації цих рішень до умов функціонування національних залізничних систем.

Отже, існує потреба у проведенні подальших досліджень, спрямованих на розроблення інтегрованих підходів щодо цифровізації управління вантажопотоками, що і визначає актуальність цієї роботи.

Визначення мети та завдання дослідження.

Мета дослідження полягає в підвищенні ефективності управління вантажопотоками на залізничному транспорті через впровадження цифрових платформ і блокчейн-технологій. Це включає аналіз можливостей використання цифрових інструментів для покращення контролю за перевезеннями, зменшення затримок, оптимізації логістичних процесів і підвищення прозорості операцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

- дослідити сучасний стан цифровізації у сфері залізничних вантажних перевезень і проаналізувати існуючі проблеми, пов'язані з управлінням вантажопотоками;

- розглянути можливості використання блокчейн-технологій для підвищення прозорості логістичних операцій, зменшення паперового документообігу;

- розробити концепцію інтеграції цифрових платформ у систему управління вантажопотоками, ураховуючи вимоги залізничних операторів і регуляторні обмеження;

- визначити основні перешкоди для цифровізації управління вантажопотоками і розробити рекомендації щодо їх подолання.

Виконання цих завдань сприятиме вдосконаленню логістичних процесів у сфері залізничних перевезень, забезпеченню більшої ефективності та конкурентоспроможності галузі за рахунок використання сучасних цифрових рішень.

Виклад основного матеріалу.

Залізничний транспорт є одним із головних елементів глобальної логістичної системи, що забезпечує перевезення значних обсягів вантажів на далекі відстані. Водночас традиційні методи управління вантажопотоками все ще мають певні недоліки, зокрема складні процедури документообігу, затримки в передаванні даних і недостатню координацію між учасниками перевізного процесу.

Для підвищення ефективності залізничної логістики важливо використовувати оптимізаційні математичні моделі, які дають змогу ухвалювати рішення в режимі реального часу, розподіляти вагони відповідно до потреб ринку і мінімізувати витрати [8].

Останніми роками активно розвивається цифровізація галузі, спрямована на покращення ефективності перевезень. Впроваджують автоматизовані системи моніторингу рухомого складу, електронний документообіг, а також цифрові платформи для оптимізації логістичних процесів [10]. Водночас існує потреба в більш досконалих підходах щодо контролю за вантажопотоками, які зменшували б вплив людського фактора і підвищували оперативність обробки інформації.

Для забезпечення ефективного управління вантажопотоками на залізничному транспорті важливо враховувати різні фактори, які впливають на процес перевезення. Це включає вартість транспортування, час доставлення, доступність рухомого складу, можливі затримки на маршрутах. Розроблення оптимізаційної моделі, яка інтегрує ці параметри, дасть змогу не лише мінімізувати витрати, але і підвищити надійність і швидкість перевезень.

У цьому контексті доцільно розробити математичну модель, яка враховує як економічні, так і технічні аспекти процесу перевезення вантажів. Водночас ефективність такої моделі значною мірою залежить від якості, повноти і актуальності вхідних даних. Саме тому доцільно використовувати блокчейн-технології, які забезпечують надійне

зберігання, передавання та верифікацію інформації про вантажопотоки в режимі реального часу [7, 9].

Інтеграція блокчейну дає змогу формувати достовірні значення параметрів моделі, що, зокрема, підвищує точність оптимізаційних розрахунків і обґрунтованість управлінських рішень.

Для ефективного управління вантажопотоками необхідно розробити оптимізаційну модель, яка враховує такі параметри:

x_{ij} – кількість вагонів, які необхідно перевезти з пункту i у пункт j ;

c_{ij} – вартість перевезення одного вагона між пунктами i та j ;

t_{ij} – час перевезення між пунктами i та j ;

d_j – попит на вагони в пункті j ;

s_i – доступна кількість вагонів у пункті i ;

p_{ij} – імовірність затримки на маршруті $i \rightarrow j$.

Математична модель може бути сформульована як задача мінімізації загальних витрат на перевезення, ураховуючи обмеження пропускної спроможності

$$\min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

із дотриманням вказаних нижче умов.

Обмеження доступності вагонів у відправних пунктах:

$$\sum_j x_{ij} \leq s_i \tag{2}$$

якщо $\forall i$.

Баланс попиту в пунктах призначення:

$$\sum_i x_{ij} \geq d_j \tag{3}$$

якщо $\forall j$.

Обмеження пропускної спроможності залізничних ділянок:

$$x_{ij} \leq C_{ij} \tag{4}$$

якщо $\forall (i, j)$,

де C_{ij} – максимальна пропускна спроможність ділянки.

Модель також може бути розширена на випадок невизначеності, ураховуючи ймовірність затримки на маршруті $i \rightarrow j$. Оптимізація перевезень відбувається через мінімізацію очікуваних затримок:

$$\min \sum_i \sum_j p_{ij} t_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

Ця модель дає змогу визначити оптимальний розподіл вагонів, знижуючи транспортні витрати і скорочуючи час доставлення.

Слід зазначити, що практична реалізація запропонованої моделі потребує наявності достовірних і синхронізованих даних про переміщення вагонів, вартість перевезень, час доставлення та можливі затримки. У традиційних системах такі дані часто є фрагментованими або застарілими, що знижує ефективність оптимізаційних рішень.

Використання блокчейн-технологій допомагає усунути ці недоліки, оскільки всі дані про операції з вантажами фіксують у розподіленому реєстрі та є доступними для всіх учасників логістичного процесу. Це забезпечує актуальність параметрів моделі та дає змогу застосовувати її в режимі реального часу.

Блокчейн-технології є перспективним рішенням для удосконалення управління вантажопотоками на залізничному транспорті. Основні переваги блокчейну включають прозорість і незмінність даних – усі транзакції записують у розподіленому реєстрі, що унеможливає фальсифікацію або зміну інформації.

Автоматизація процесів – смарт-контракти дають змогу автоматизувати виконання угод між перевізниками, операторами терміналів та іншими учасниками логістичного ланцюга.

Безпека та зниження ризиків шахрайства – децентралізований характер блокчейну гарантує, що дані про вантажі, маршрути та учасників перевезення залишаються захищеними від несанкціонованого доступу.

Запровадження блокчейну допоможе зменшити адміністративні витрати, скоротити час перевірки вантажних документів і покращити координацію між залізничними адміністраціями різних країн.

Блокчейн є потужним інструментом для цифровізації залізничних перевезень, оскільки він дає змогу автоматизувати документообіг, зменшити

ризик шахрайства і покращити координацію між операторами.

Для забезпечення зв'язку між оптимізаційною моделлю та інформаційною інфраструктурою доцільно інтегрувати блокчейн-систему у процес управління вантажопотоками. У цьому випадку блокчейн є джерелом достовірних даних для параметрів моделі та інструментом реалізації її результатів.

Кожен вагон k має унікальний цифровий ідентифікатор ID_k , а інформацію про його переміщення, стан і виконання перевезень автоматично фіксують у блокчейн-мережі. Отримані дані використовують для оновлення параметрів x_{ij} , t_{ij} , p_{ij} у режимі реального часу, щоб адаптувати оптимізаційну модель до поточних умов функціонування транспортної системи.

Запис у блокчейні можна подати як

$$H_k = H(ID_k, T_k, L_k, P_k) \quad (6)$$

де H_k – хеш-запис у блокчейні;

T_k – час прибуття вагона на станцію;

L_k – місцезнаходження вагона;

P_k – параметри вантажу.

Це дає змогу в режимі реального часу відстежувати переміщення вагонів, зменшуючи кількість людських помилок і покращити контроль за логістикою.

Крім того, результати оптимізаційної моделі можуть бути реалізовані за допомогою смарт-контрактів, які автоматично виконують розподіл вагонів відповідно до знайденого оптимального рішення. Це допомагає мінімізувати вплив людського фактора, скоротити час ухвалення рішень і підвищити ефективність управління вантажопотоками.

Інтеграція цифрових платформ у систему управління вантажопотоками

Цифрові платформи, що використовують елементи штучного інтелекту і великих даних (Big Data), відкривають нові можливості для прогнозування та оптимізації перевезень [11].

Вони дають змогу:

- аналізувати поточне завантаження залізничної мережі та прогнозувати можливі затримки;

- автоматично розподіляти вагони відповідно до потреб ринку та наявності вільного рухомого складу;

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

- контролювати технічний стан вагонів і локомотивів у режимі реального часу.

Одним із успішних прикладів є європейська ініціатива Rail Freight Digital Platform, яка об'єднує перевізників, вантажовласників та інфраструктурні компанії для спрощення управління логістичними операціями.

Інтелектуальні транспортні системи (ITS) допомагають прогнозувати навантаження на залізничну мережу, аналізуючи історичні дані та поточні умови. Прогнозування обсягів вантажопотоків можна здійснити за допомогою регресійної моделі

$$V_t = \alpha + \beta_1 V_{t-1} + \beta_2 P_t + \beta_3 T_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

де V_t – прогнозований обсяг перевезень на момент часу t ;

V_{t-1} – обсяг перевезень у попередньому періоді;

P_t – ціна на залізничні перевезення;

T_t – середня тривалість перевезень;

ε_t – випадкова помилка прогнозу.

Використання таких моделей дає змогу залізничним компаніям більш ефективно розподіляти ресурси та уникати перевантаження на окремих ділянках.

Ефективність впровадження цифрових технологій у залізничній логістиці доцільно розглядати як комплексний результат змін у процесах управління вантажопотоками, інформаційному забезпеченні та організації перевезень.

На відміну від підходів, що базовані виключно на узагальнених статистичних показниках, у цій роботі ефективність цифровізації пропонується оцінювати за сукупністю якісних змін, що виникають у результаті інтеграції цифрових платформ і блокчейн-технологій.

Зокрема, впровадження цифрових інструментів забезпечує:

- підвищення оперативності обробки інформації завдяки переходу до електронного документообігу;

- покращення координації між учасниками перевізного процесу за рахунок єдиного інформаційного середовища;

- зниження впливу людського фактора для ухвалення рішень;

- підвищення прозорості логістичних операцій і достовірності даних;

- можливість адаптації управлінських рішень у режимі реального часу.

Важливою особливістю є те, що використання блокчейн-технологій дає змогу забезпечити цілісність і синхронізацію даних, що безпосередньо впливає на якість параметрів оптимізаційної моделі. Це у свою чергу сприяє підвищенню обґрунтованості рішень про розподіл вагонів і планування перевезень.

Отже, ефективність цифровізації проявляється не лише в можливому зниженні витрат або скороченні часу виконання операцій, але і в підвищенні загальної керованості транспортної системи, її адаптивності до змін зовнішнього середовища та здатності до інтеграції з іншими елементами логістичної інфраструктури.

Запропонований підхід дає змогу розглядати цифровізацію як фактор підвищення системної ефективності залізничних перевезень, що забезпечує довгострокові переваги для всіх учасників транспортного процесу.

Основні перешкоди та рекомендації щодо їх подолання

Незважаючи на переваги цифрових технологій, існують певні перешкоди для їх впровадження:

- висока вартість інтеграції блокчейн-систем у залізничну інфраструктуру;

- необхідність узгодження технологічних стандартів між різними залізничними адміністраціями;

- відсутність єдиної стратегії цифрової трансформації в багатьох країнах.

Для подолання цих аспектів важливо:

- розробити єдині цифрові стандарти обміну даними між залізничними операторами;

- залучити державні інвестиції та міжнародні гранти для підтримки цифровізації залізничної галузі;

- сприяти активній співпраці між залізничними адміністраціями з метою впровадження блокчейн-технологій і цифрових платформ.

Висновки.

У роботі визначено основні напрями цифровізації залізничного транспорту, зокрема впровадження цифрових платформ і блокчейн-технологій, що забезпечують автоматизацію збору та обробки даних, покращення моніторингу вантажопотоків і вдосконалення управління документацією.

Запропоновано підхід щодо управління вантажопотоками на основі оптимізаційної математичної моделі, яка враховує економічні та технічні параметри перевізного процесу. Також обґрунтовано доцільність використання блокчейн-технологій як інструменту забезпечення достовірності та актуальності даних, необхідних для функціонування моделі.

Показано, що інтеграція цифрових технологій у систему управління вантажопотоками створює передумови для підвищення прозорості логістичних процесів, покращення координації між учасниками

ІНФОРМАЦІЙНО–КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

перевезень і оперативності ухвалення управлінських рішень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення методів прогнозування вантажопотоків, а також інтеграцію інструментів штучного інтелекту для автоматизації планування залізничних перевезень.

Список використаних джерел

- Sarp S., Kuzlu M., Jovanovic V. Digitalization of railway transportation through AI-powered services: digital twin trains. *European Transport Research Review*. 2024. Vol. 16. Article 58. URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00679-5> (date of access: 20.01.2026).
- Rodríguez-Hernández M., Crespo-Márquez A., Sánchez-Herguedas A., González-Prida V. Big data analytics in railway systems: A review. *Infrastructures*. 2025. Vol. 10 (4). P. 96. URL: <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040096> (date of access: 18.01.2026).
- Revolutionizing railway systems: A systematic review of digital twin technologies. *High-Speed Railway*. 2025. Vol. 3 (3). P. 238–250. URL: <https://doi.org/10.1016/j.hspr.2025.05.005> (date of access: 25.01.2026).
- Kuperberg M. Scaling a blockchain-based railway control system prototype for mainline railways. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2103.08304> (date of access: 26.01.2026).
- RFID technology and its effects on improving technological processes at the Čierna nad Tisou station. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 55. P. 466–474. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.07.010 (date of access: 25.01.2026).
- Krmac E., Djordjevic B. Digital twins for railway sector: current state and future directions. *IEEE Access*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3439471> (date of access: 28.01.2026).
- Tardivo A., Sánchez Martín C. A study of blockchain adoption in the rail sector. *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 72. P. 1396–1403. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.603> (date of access: 20.01.2026).
- Li Z. Artificial intelligence in railway infrastructure: current research, challenges, and future opportunities. *Intelligent Transportation Infrastructure*. 2023. <https://doi.org/10.1093/iti/liad016> (date of access: 20.01.2026).
- Wang C., Wang X. A blockchain-based trusted sharing method for railway transportation BIM data. *Blockchain: Research and Applications*. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2024.100273> (date of access: 22.01.2026).
- Rodríguez-Hernández M. et al. Digitalization as an enabler in railway maintenance Infrastructures. 2025. Vol. 10 (4). <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040096> (date of access: 18.01.2026).
- Рибальченко Л. І. Використання Big Data для прийняття управлінських рішень у сфері експлуатаційної діяльності залізничного транспорту. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 2 (43). С. 1491–1501.

References

- Sarp, S., Kuzlu, M., & Jovanovic, V. (2024). Digitalization of railway transportation through AI-powered services: Digital twin trains. *European Transport Research Review*, 16, Article 58. <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00679-5>
- Rodríguez-Hernández, M., Crespo-Márquez, A., Sánchez-Herguedas, A., & González-Prida, V. (2025). Big data analytics in railway systems: A review. *Infrastructures*, 10(4), Article 96. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040096>
- Revolutionizing railway systems: A systematic review of digital twin technologies. (2025). *High-Speed Railway*, 3(3), 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.hspr.2025.05.005>
- Kuperberg, M. (2021). *Scaling a blockchain-based railway control system prototype for mainline railways*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2103.08304>
- RFID technology and its effects on improving technological processes at the Čierna nad Tisou station. (2021). *Transportation Research Procedia*, 55, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.010>
- Krmac, E., & Djordjevic, B. (2024). Digital twins for railway sector: Current state and future directions. *IEEE Access*, 12, 111164–111183. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3439471>
- Tardivo, A., & Sánchez Martín, C. (2023). A study of blockchain adoption in the rail sector. *Transportation Research Procedia*, 72, 1396–1403. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.603>
- Li, Z. (2023). Artificial intelligence in railway infrastructure: Current research, challenges, and future opportunities. *Intelligent Transportation Infrastructure*, 2, Article liad016. <https://doi.org/10.1093/iti/liad016>
- Wang, C., & Wang, X. (2025). A blockchain-based trusted sharing method for railway transportation BIM data. *Blockchain: Research and Applications*, 6(2), Article

100273. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2024.100273>
10. Rodríguez-Hernández, M., Crespo-Márquez, A., Sánchez-Herguedas, A., & González-Prida, V. (2025). Digitalization as an enabler in railway maintenance: A review from “The International Union of Railways Asset Management Framework” perspective. *Infrastructures*, 10(4), Article 96. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040096>
11. Rybalchenko, L. I. (2025). Vykorystannia Big Data dlia pryniattia upravlinskykh rishen u sferi ekspluatatsiinoi diialnosti zaliznychnoho transportu [The use of Big Data for making managerial decisions in the field of operational activity of railway transport]. *Nauka i tekhnika sohodonni* [Science and Technology Today], (2(43)), 1491–1501.

Rybalchenko Liliia

TRANSFORMATION OF FREIGHT FLOW MANAGEMENT IN RAILWAY TRANSPORT BASED ON DIGITAL PLATFORMS

Abstract. Rail freight transportation plays a critical role in ensuring the smooth flow of goods both domestically and internationally. A key component of this process is cargo flow management, which directly influences the timeliness, safety, and economic efficiency of transportation. With the growing volume of railway freight and the development of global logistics, there is an increasing need to implement advanced technologies to automate and optimize cargo management. In recent years, the railway sector has actively adopted digital technologies, including digital platforms and blockchain, to improve monitoring, reduce costs, minimize human error, and enhance operational transparency. Blockchain technologies, in particular, are crucial for cargo accounting, logistics process control, and document management.

This paper explores the modern approaches to the use of digital platforms and blockchain in railway freight flow management. It analyzes the key factors influencing the effectiveness of implementing these technologies and examines the prospects for their further development both in Ukraine and globally. The research addresses the challenges of insufficient automation in the control and coordination of railway transportation, which leads to delays, inefficient use of rolling stock, and increased operational costs.

Digital platforms offer centralized management, automated data collection, and real-time monitoring of freight flows, while blockchain can significantly improve

transparency, reduce the risk of fraud, and streamline documentation. Despite these advantages, the widespread implementation of these technologies faces challenges such as the technical compatibility of various information systems, the need for integration with existing infrastructure, high implementation costs, and the adaptation of legal frameworks.

The aim of the research is to improve the efficiency of cargo flow management on railways through the use of digital platforms and blockchain. The study analyzes the potential of digital tools to enhance monitoring, reduce delays, optimize logistics, and increase operational transparency. By examining case studies and identifying obstacles, the research offers recommendations for overcoming barriers and integrating these innovations into railway transportation systems, contributing to the overall modernization of logistics processes and improving the competitiveness of the sector.

Keywords: freight flow management, digitization of railway logistics, blockchain technologies in transportation, optimization of rail transportation, automation of logistics processes, digital platforms for railways, mathematical models of transportation, transparency of logistics operations, reduction of transportation costs, integration of digital solutions into rail transportation.

Рибальченко Лілія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: rybalchenko@kart.edu.ua. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3585-624X>.

Rybalchenko Liliia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: rybalchenko@kart.edu.ua. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3585-624X>.

Стаття надійшла 06.04.26

Стаття прийнята до друку після рецензування 01.05.26

Стаття опублікована (оприлюднена) 29.05.26

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.