

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЛОКЧЕЙНУ З АКЦЕНТОМ НА ТРАНСПОРТНУ ІНФРАСТРУКТУРУ

Дмитрієва О.І., д-р екон. наук, професор

Стогул К.М., здобувач вищої освіти

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Постановка проблеми. У сучасному світі транспортна інфраструктура відіграє ключову роль у забезпеченні економічного розвитку та соціального благополуччя. Однак, традиційні методи управління транспортними системами стикаються з численними викликами, такими як неефективність, корупція, затримки у передачі даних, високі витрати на адміністрування та безпека. Одним з перспективних рішень для подолання цих проблем є впровадження технології блокчейн.

Блокчейн, як децентралізована і захищена від маніпуляцій технологія розподіленого реєстру, має потенціал значно підвищити ефективність та прозорість у транспортному секторі. Вона може забезпечити надійну і прозору передачу даних, зменшити витрати на транзакції, покращити безпеку і скоротити час обробки інформації. Однак, застосування блокчейну в транспортній інфраструктурі ще на початковому етапі, і існує багато невирішених питань. Це включає в себе технічні виклики, питання масштабування, інтеграції з існуючими системами, а також правові та регуляторні бар'єри.

Отже, проблема дослідження полягає в необхідності визначення та аналізу особливостей застосування технології блокчейн у транспортній інфраструктурі, ідентифікації переваг і недоліків такого підходу, а також розробки рекомендацій щодо його ефективного впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми застосування блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі привернули увагу багатьох дослідників в Україні та за кордоном. Останніми роками було опубліковано ряд наукових праць, що аналізують потенціал і виклики впровадження блокчейну в цій галузі.

В дослідженні [1] автори аналізують використання технології блокчейн у сучасній транспортній логістиці. В роботі підкреслено, що незважаючи на доступність Інтернету, процес вантажоперевезень все ще має численні труднощі через складність взаємодії між різними учасниками ланцюга поставок, такими як логісти, замовники, одержувачі та інші структури. Авторами було проаналізовано досвід використання блокчейн у транспортній логістиці 17 міжнародних компаній, результати показали, що блокчейн допомагає вирішувати проблеми довіри до посередників у торговому ланцюгу,

знижує транзакційні витрати і підвищує ефективність роботи в середовищі з багатьма агентами.

Петренко О. та Алексеєва О. у своєму дослідженні [2] аналізують можливості вдосконалення та інноваційні підходи, включно із застосуванням технології блокчейн для підвищення прозорості, ефективності та безпеки перевезень. Наведено приклади використання блокчейн-технології у практиці світових гравців ринку контейнерних перевезень та напрямки покращення їх роботи після її впровадження. Автори відмічають, що блокчейн-технологія дозволяє створювати розподілену базу даних, яка гарантує стабільність і захищеність даних від маніпуляцій, роблячи її ідеальним інструментом для відстеження вантажів у мультимодальних перевезеннях. В роботі зазначено, що використання блокчейн у мультимодальних контейнерних перевезеннях може стати важливим кроком у напрямку створення більш надійних, безпечних та ефективних транспортних мереж, що сприятиме поліпшенню глобального ланцюга поставок у контексті сучасних викликів та технологічних можливостей.

Кудирко О. [3] у своїй роботі розглядає блокчейн як інноваційний інструмент для управління ланцюгами поставок. В дослідженні описано основні принципи роботи та особливості цієї технології, а також передумови її розвитку. Значну увагу автор приділив аналізу зарубіжного досвіду застосування блокчейн у фінансовій сфері та інших секторах економіки. У результаті дослідження визначено основні переваги, які можна отримати від впровадження цієї технології в логістичні процеси.

Автори дослідження [4] визначають блокчейн як нерозривний ланцюжок блоків, який знижує ризик шахрайства та забезпечує прозорість обміну даними. Вони розглядають можливість інтеграції блокчейну в сектор морського транспорту, зокрема в портах, для підвищення безпеки та прозорості логістичних операцій. В роботі аналізується впровадження розумних контейнерів, які сповіщають про вологість або температуру, що важливо для транспортування швидкопсувних товарів. Автори підкреслюють, що зміна очікувань клієнтів є рушійною силою цифрової трансформації та наголошують на потенціалі дослідження впровадження блокчейну в морському транспорті, оскільки існуючі дослідження зосереджуються на загальній цифровізації логістики.

У статті [5] автор розглядає застосування технології блокчейн у цифровізації логістики та управлінні транспортно-логістичним обслуговуванням, аналізуються переваги її використання в управлінні ланцюгами поставок. В дослідженні наведено основні світові тенденції та приклади використання блокчейн провідними компаніями, досліджено організаційно-технологічний механізм взаємодії суб'єктів бізнесу при впровадженні блокчейн. Автор зазначає, що блокчейн спрощує державне адміністрування ланцюгів поставок, підвищує якість товарів та сприяє соціально-економічному розвитку регіонів.

Таким чином, існуючі дослідження підтверджують значний потенціал блокчейн-технологій для вдосконалення транспортної інфраструктури, однак також вказують на необхідність подальших досліджень для вирішення технічних, правових та організаційних питань, пов'язаних з їх впровадженням.

Невирішені складові загальної проблеми. Блокчейн-технології знайшли своє застосування в багатьох сферах діяльності, пропонуючи інноваційні рішення для підвищення прозорості, безпеки та ефективності операцій. Проте, їх впровадження в транспортній інфраструктурі супроводжується рядом невирішених питань, які потребують детального аналізу та дослідження.

По-перше, існують технічні виклики. Масштабованість та швидкість обробки транзакцій є суттєвими проблемами для більшості існуючих блокчейн-платформ. Блокчейн-системи повинні бути здатні обробляти великий обсяг даних у реальному часі. Інтеграція блокчейн-рішень з існуючими транспортними системами потребує адаптації та значних ресурсів для забезпечення сумісності та безперервності операцій.

По-друге, впровадження блокчейн-технологій вимагає суттєвих змін в управлінні логістичними та транспортними процесами. Зміна існуючих бізнес-процесів потребує додаткових зусиль та ресурсів. Також необхідно забезпечити підготовку фахівців, які будуть здатні ефективно використовувати нові технології, що вимагає додаткових навчальних програм і тренінгів.

По-третє, відсутність єдиних стандартів у законодавчому регулюванні блокчейн-технологій може створювати бар'єри для їх впровадження. Невизначеність у правовій сфері потребує розробки чітких нормативних актів та регулюючих механізмів. Питання захисту даних залишається критичним, оскільки блокчейн передбачає децентралізоване зберігання інформації, що може стати об'єктом кібератак або неправомірного доступу.

Таким чином, проблема впровадження блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі вимагає комплексного підходу для вирішення технічних, організаційних і правових викликів. Комплексний підхід до вирішення зазначених питань дозволить ефективніше впроваджувати блокчейн-технології в транспортну інфраструктуру, забезпечуючи підвищення ефективності, прозорості та безпеки операцій.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз ключових аспектів застосування блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі, зокрема ідентифікація основних переваг та недоліків, а також визначення технічних, правових і організаційних викликів, що стоять на шляху впровадження цих технологій. Особливий акцент зроблено на дослідженні можливостей інтеграції блокчейну з існуючими системами та перспективи його використання для покращення ефективності, прозорості та безпеки транспортних процесів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Блокчейн-технології знайшли своє застосування в багатьох сферах діяльності, пропонуючи інноваційні рішення для підвищення прозорості, безпеки, та ефективності

операцій. Розглянемо основні індустрії, де широко використовується блокчейн-технології:

- Фінансова індустрія - перша та найвідоміша сфера застосування блокчейн - фінансові послуги. Технологія лежить в основі криптовалют, таких як *Bitcoin* і *Ethereum*, забезпечуючи безпеку та анонімність транзакцій, а також сприяючи розвитку *DeFi* (децентралізованих фінансів).

- Охорона здоров'я - блокчейн використовується для створення безпечних та незмінних баз даних медичних записів, що забезпечує надійний обмін інформацією між медичними установами та пацієнтами, а також сприяє боротьбі з фальсифікацією ліків [6].

- Ланцюги поставок і логістика - використання блокчейн в ланцюгах поставок дозволяє відстежувати переміщення товарів від виробника до споживача, підвищуючи прозорість та ефективність логістичних процесів.

Транспортна інфраструктура є однією з найперспективніших сфер застосування блокчейн-технологій, наведемо декілька прикладів як їх використання може трансформувати цю галузь:

- управління ланцюгами поставок - застосування блокчейн для відстеження та управління транспортними потоками та логістикою, забезпечуючи незмінність інформації про статус вантажів та їх місцезнаходження;

- транспортні документи - автоматизація процесів обміну документами, включаючи коносаменти та інші транспортні документи, за допомогою смарт-контрактів для зменшення паперової роботи та забезпечення швидкого розрахунку;

- спільне використання даних - створення децентралізованих платформ для обміну даними між різними учасниками транспортної інфраструктури, такими як транспортні компанії, порти, митниця, що сприяє підвищенню ефективності та зниженню часу обробки вантажів;

- мікроплатежі та безготівкові розрахунки - впровадження блокчейн-базованих систем оплати за проїзд, паркування та інші транспортні послуги, що забезпечує зручність та безпеку транзакцій.

Огляд сфер застосування блокчейну демонструє величезний потенціал технології для радикальної трансформації різних індустрій, особливо у сфері транспортної інфраструктури, де блокчейн обіцяє принести значні переваги у вигляді підвищення ефективності, безпеки та прозорості операцій. (рис. 1).

На наведеному графіку представлено застосування блокчейн-технологій у різних секторах економіки, зокрема у фінансах, охороні здоров'я, ланцюгах поставок і транспорті.

Дані відображають процентне співвідношення інтеграції блокчейну в кожному з аналізованих секторів, підкреслюючи особливо високий рівень застосування у транспортній інфраструктурі. Це підтверджує значний інтерес та інвестиції в блокчейн-технології з метою оптимізації та автоматизації процесів, підвищення прозорості та безпеки в різних аспектах транспортного сектору.

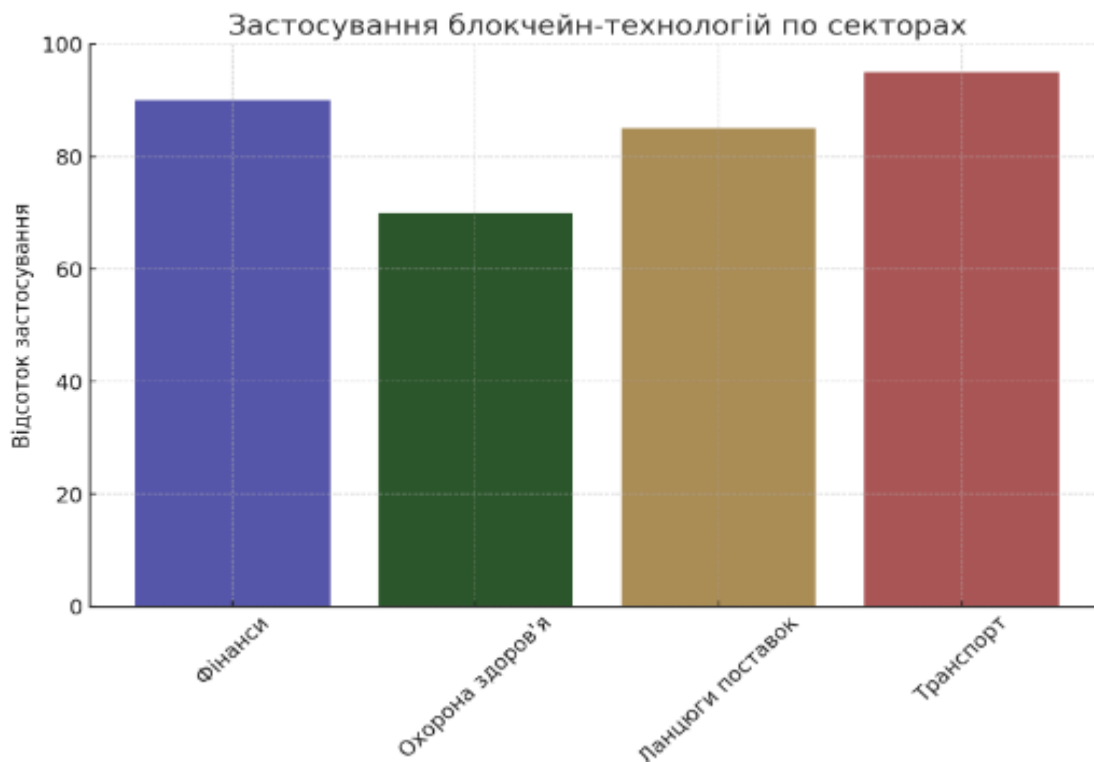


Рис. 1. Застосування блокчейн-технологій по галузям економіки

Джерело: сформовано авторами на основі [7].

Зосередимось на більш детальному аналізі використання блокчейн саме у транспортній інфраструктурі (рис. 2). Відобразимо ключові сфери впровадження блокчейн від управління ланцюгами поставок до мікро платежів. Такий підхід дозволив глибше зануритися в специфіку застосування блокчейн в транспорті, визначаючи потенційні напрямки для подальших досліджень та розвитку.



Рис. 1. Застосування блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі

Джерело: сформовано авторами на основі [7].

Для відображення застосування блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі, авторами створено кругову діаграму, яка показує відсотковий розподіл різних аспектів їх використання: управління ланцюгами поставок, транспортні документи, спільне використання даних та мікроплатежі.

Ця діаграма візуально демонструє, наскільки важливими є різні сфери використання блокчейну для транспортної галузі, з особливим акцентом на управління ланцюгами поставок, яке займає найбільшу частку.

Переходячи від загального огляду застосування блокчейну в різних секторах до більш специфічного контексту транспортної інфраструктури, важливо зосередитися на актуальних трендах та інноваціях, що впливають на цю галузь. Розвиток технологій та їх інтеграція в транспортні системи відкривають нові можливості для покращення ефективності, безпеки та сталості.

На наступному етапі дослідження проведемо аналіз ключових інноваційних рішень, які блокчейн пропонує в контексті сучасних викликів транспортної індустрії. Розгляд цих трендів дозволив не тільки глибше зрозуміти потенціал блокчейн для реформування транспортної сфери, але й визначити напрямки для подальших досліджень та розробок.

Переходячи від огляду основних сфер застосування блокчейн до аналізу актуальних трендів та інновацій у цій технології проведемо аналіз концепції цифрових двійників (*Digital Twins*). Цей напрямок використання блокчейн в транспортній інфраструктурі відкриває нові можливості для управління активами та моніторингу стану інфраструктури з неперевершеною точністю [9].

Концепція цифрових двійників передбачає створення віртуальних відображень фізичних об'єктів або систем, що дозволяє проводити детальний аналіз, моделювання та оптимізацію їхньої роботи у реальному часі.

Використання блокчейну в цьому контексті додає кілька значних переваг [8]:

- безпека та незмінність даних - блокчейн забезпечує високий рівень безпеки та гарантує незмінність історичних даних, що є критично важливим для аналізу трендів та патернів використання об'єктів транспортної інфраструктури;
- прозорість та доступність інформації - централізоване зберігання інформації про стан інфраструктури в блокчейн забезпечує легкий доступ до даних для всіх зацікавлених сторін, підвищуючи загальну прозорість управління активами;
- автоматизація процесів - інтеграція смарт-контрактів дозволяє автоматизувати багато процесів, пов'язаних з управлінням та обслуговуванням транспортної інфраструктури, базуючись на актуальних даних з цифрових двійників.

Застосування блокчейну для створення цифрових двійників відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності та надійності транспортної інфраструктури. Це не тільки покращує управління активами, але й забезпечує можливість здійснювати своєчасне обслуговування та модернізацію інфраструктури, опираючись на точні та актуальні дані.

Нижче наведено таблицю, яка наводить приклади застосування блокчейн для створення цифрових двійників в транспортній інфраструктурі, з урахуванням аспектів безпеки та незмінності даних, прозорості та доступності інформації, а також автоматизації процесів.

Таблиця 1

Застосування блокчейн для створення цифрових двійників у транспортній інфраструктурі

Аспекти	Переваги	Можливості застосування
Безпека та незмінність даних	Забезпечення високого рівня безпеки та гарантія незмінності даних	Використання блокчейн для архівування даних про стан мостів та шляхів
Прозорість та доступність інформації	Легкий доступ до актуальних даних для всіх стекхолдерів, підвищення прозорості	Інтеграція платформи з цифровими двійниками з блокчейн для спільного доступу транспортних компаній
Автоматизація процесів	Можливість автоматизувати рішення про обслуговування на основі даних з цифрових двійників	Автоматичне планування технічного обслуговування вантажних автомобілів на основі даних про їх використання

Джерело: сформовано авторами на основі [8].

Представлена таблиця демонструє, як блокчейн може сприяти покращенню управління активами, здійсненню ефективного моніторингу стану інфраструктури та плануванню обслуговування з вищою точністю через створення та використання цифрових двійників.

Наступним кроком дослідження є розгляд інших інноваційних застосувань цієї технології, які можуть подальше трансформувати транспортну галузь. Серед них - токенизація активів та інтеграція блокчейн в системи управління безпілотними транспортними засобами [10].

Токенизація активів є одним з найбільш обговорюваних напрямків у сфері блокчейн. Цей процес передбачає перетворення прав власності на фізичні або інтелектуальні активи в цифрові токени, що можуть бути легко куплені, продані або обміняні на спеціалізованих платформах.

У контексті транспортної інфраструктури, токенизація може суттєво спростити процеси інвестування в транспортні проекти, забезпечуючи вищу прозорість власності та полегшуючи передачу прав. Це відкриває нові можливості для приватних інвесторів та компаній, сприяючи залученню капіталу для розвитку та модернізації транспортної інфраструктури.

Інтеграція блокчейну в системи управління безпілотними транспортними засобами відкриває нові перспективи для автоматизації та безпеки транспорту.

Блокчейн може забезпечити надійний обмін даними між автомобілями та інфраструктурними елементами, автентифікацію засобів транспорту та їхніх операторів, а також безпечно зберігання та обробку великих обсягів даних, зібраних безпілотними транспортними засобами.

Це сприяє створенню ефективніших, безпечніших та більш надійних систем транспорту, що є важливим кроком на шляху до повної автоматизації транспортних послуг.

В табл. 2 наведемо приклади застосування інноваційних рішень на базі блокчейну в транспортній інфраструктурі, зокрема токенізація активів та впровадження безпілотних транспортних засобів.

Таблиця 2

Інновації у транспортній інфраструктурі з використанням блокчейн

Інновація	Переваги	Приклади
Токенізація активів	Спрощення інвестицій, забезпечення прозорості, полегшення передачі прав	Токенізація власності на транспортні засоби для залучення приватних інвестицій
Безпілотні транспортні засоби	Безпечний обмін даними, автентифікація ТЗ, ефективніші та безпечніші системи	Розробка безпілотних вантажівок з використанням блокчейн для забезпечення безпеки та ефективності логістики

Джерело: сформовано авторами на основі [8].

Наведені авторами приклади підкреслюють потенціал блокчейн для впровадження інноваційних рішень у транспортній інфраструктурі, які можуть суттєво покращити ефективність, безпеку та доступність транспортних послуг.

В нашому дослідженні також розглянемо ключові напрямки, які мають значний потенціал для подальшої трансформації транспортної галузі: інтеграція з Інтернетом речей та сприяння зеленим ініціативам та сталості.

Сучасна транспортна інфраструктура все більше залежить від інтеграції різних технологій, а поєднання блокчейн-технологій з Інтернетом речей відкриває нові можливості для оптимізації та безпеки. Інтеграція інтернету речей та блокчейн може значно покращити моніторинг стану доріг, управління рухом та автоматизацію платіжних операцій, забезпечуючи високий рівень безпеки даних та надійний обмін інформацією між різними елементами транспортної системи.

Блокчейн також відіграє важливу роль у реалізації зелених ініціатив і підвищенні сталості в транспортній галузі. Технологія може допомогти відстежувати викиди парникових газів, оптимізувати маршрути для зниження споживання палива, та сертифікувати екологічно чисті транспортні засоби, забезпечуючи більш ефективне та екологічно стійке використання ресурсів.

Обидва ці напрямки не тільки демонструють потенціал блокчейн-технологій для розв'язання конкретних викликів у транспортній інфраструктурі, але й підкреслюють важливість інноваційних підходів для досягнення сталого розвитку та впровадження ефективних транспортних рішень.

В табл. 3 наведено аналіз зазначених інновації у транспортній інфраструктурі з використанням блокчейн. Ці інновації підкреслюють потенціал блокчейн для підвищення безпеки та ефективності систем,

оптимізації моніторингу стану інфраструктури, а також для сприяння сталому розвитку та екологічним ініціативам у сфері транспорту.

Таблиця 3

Інновації у транспортній інфраструктурі з використанням блокчейн

Інновації	Переваги	Приклади
Інтеграція з інтернетом речей	Підвищення безпеки та ефективності системи інтернету речей, оптимізація моніторингу стану доріг та управління рухом	Використання інтернету речей датчиків з блокчейн для моніторингу стану мостів та доріг в реальному часі
Зелені ініціативи та сталий розвиток	Сприяння екологічним ініціативам через відстеження викидів парникових газів, оптимізація маршрутів	Реалізація блокчейн-платформ для відстеження та звітності викидів парникових газів від комерційного транспорту

Джерело: сформовано авторами на основі [11].

Ці приклади ілюструють, як блокчейн може сприяти розумному та сталому управлінню транспортною інфраструктурою, підвищуючи ефективність та зменшуючи екологічний вплив транспортних операцій.

Аналіз актуальних трендів та інновацій у застосуванні блокчейн-технологій в транспортній інфраструктурі відкриває нові горизонти для підвищення ефективності, безпеки та стійкості цієї критично важливої галузі.

Від створення цифрових двійників до інтеграції з Інтернетом речей і залучення зелених ініціатив, блокчейн пропонує інноваційні рішення, які можуть радикально трансформувати спосіб, яким ми управляємо та взаємодіємо з транспортною інфраструктурою.

Токенізація активів відкриває нові можливості для інвестування та управління правами власності, а використання блокчейн в системах управління безпілотними транспортними засобами забезпечує безпеку та надійність даних.

Інтеграція з Інтернетом речей дозволяє виконувати більш точний моніторинг стану інфраструктури та управління рухом, тоді як зелені ініціативи використовують блокчейн для сприяння сталому розвитку та екологічній відповідальності.

У сукупності, розгляд цих інновацій підкреслює значний потенціал блокчейн, як інструменту для вирішення існуючих та майбутніх викликів у транспортній інфраструктурі, наголошуючи на його роль як ключового драйвера для інноваційного розвитку та покращення в цій галузі.

Усвідомлюючи значний вплив токенизації активів, безпеку в системах управління безпілотними транспортними засобами, а також важливість інтеграції з Інтернетом речей та зеленими ініціативами для сталого розвитку, ми можемо побачити широкий спектр можливостей, які блокчейн відкриває для транспортної інфраструктури.

Однак потенціал цієї технології не обмежується лише згаданими аспектами. Розглядаючи додаткові сфери застосування, ми можемо глибше зануритися в те, як блокчейн може сприяти розв'язанню існуючих викликів і

створювати нові можливості для інноваційного розвитку транспортної інфраструктури.

Починаючи з підвищення прозорості та зменшення шахрайства, блокчейн пропонує неперевершені засоби для боротьби з корупцією та оптимізації логістичних процесів, що є критично важливими для ефективної роботи транспортної системи.

Інтелектуальні контракти, що автоматизують транспортні операції, обіцяють зменшити витрати та забезпечити вищу надійність і точність у виконанні контрактних угод.

Також не можна ігнорувати роль блокчейну в міжмодальних перевезеннях та оптимізації маршрутів, де він може слугувати засобом для координації між різними видами транспорту, покращуючи ефективність загальної транспортної системи.

Окрім технічних переваг, блокчейн відіграє важливу роль у зміцненні енергоефективності та екологічної відповідальності, сприяючи проектам, які мають на меті зниження викидів та покращення використання ресурсів. Це вказує на глибоку інтеграцію блокчейну в сучасні екологічні та енергетичні стратегії, що робить його невід'ємною частиною зелених ініціатив.

Розширення можливостей оплати через використання криптовалюти та блокчейн-платформ також відкриває нові горизонти для споживачів та постачальників транспортних послуг, пропонуючи більш зручні, безпечні та ефективні способи оплати.

Крім того, аналізуючи успішні кейси з усього світу, ми можемо винести важливі уроки та найкращі практики, які вже були реалізовані в різних транспортних системах, демонструючи реальний вплив і ефективність блокчейну у цій сфері.

В сукупності, ці аспекти не лише розширюють наше розуміння потенціалу блокчейну в транспортній інфраструктурі, але й підкреслюють його ключову роль як драйвера інноваційного розвитку та покращення в цій галузі.

В рамках даного дослідження, доцільно надати приклади застосування блокчейн у транспортній інфраструктурі, можна розглянути такі кейси:

1. Підвищення прозорості та зменшення шахрайства - *Maersk* і *IBM TradeLens*. *TradeLens* — це глобальна торговельна платформа на основі блокчейн, розроблена *Maersk* спільно з *IBM*. Вона дозволяє всім учасникам торговельного ланцюга, включаючи перевізників, портові та митні органи, отримувати доступ до актуальної та незмінної інформації про вантажні операції, тим самим підвищуючи прозорість та знижуючи ризики шахрайства [12].

2. Спрощення логістики та відстеження вантажів - *Walmart* і блокчейн для відстеження продовольства. *Walmart* використовує блокчейн для відстеження походження та руху продуктів харчування вздовж ланцюга поставок. Це дозволяє компанії швидко виявляти джерело проблеми у разі виявлення забруднених або небезпечних продуктів, забезпечуючи вищий рівень безпеки харчових продуктів.

3. Розвиток інтелектуальних контрактів - *Helbiz* і спільне використання транспортних засобів. *Helbiz* використовує блокчейн для управління інтелектуальними контрактами в системі спільного використання транспортних засобів. Це дозволяє автоматизувати процеси видачі та повернення транспортних засобів, а також оплату за користування, роблячи весь процес більш ефективним та прозорим [13].

4. Міжмодальні перевезення - проєкт *Alastria* у Іспанії. *Alastria* — це консорціум, який об'єднує різні сектори економіки, включаючи транспорт, для розробки міжгалузевих блокчейн-рішень. Вони працюють над створенням платформи, яка дозволить ефективно управляти міжмодальними перевезеннями, покращуючи координацію між різними видами транспорту.

5. Інтеграція з міськими сервісами - Сінгапур і блокчейн для управління міським трафіком. Уряд Сінгапура досліджує використання блокчейну для створення більш ефективних і безпечних систем управління міським трафіком. Зокрема, це стосується оптимізації руху транспортних засобів і покращення взаємодії між різними видами міського транспорту.

6. Енергоефективність та зменшення викидів - *Brooklyn Microgrid* і блокчейн для торгівлі енергією. *Brooklyn Microgrid* — це проєкт у Нью-Йорку, який використовує блокчейн для створення локальної енергетичної мережі, де користувачі можуть купувати та продавати електроенергію, вироблену з відновлювальних джерел, безпосередньо один одному. Цей проєкт спрямований на підвищення енергоефективності та зменшення викидів вуглецю.

Ці приклади демонструють широкий спектр можливостей застосування блокчейну в транспортній інфраструктурі та суміжних галузях, підкреслюючи його потенціал для підвищення ефективності, безпеки, прозорості та екологічної стійкості.

Враховуючи наведені приклади та аналіз потенційних можливостей, блокчейн виявляється могутнім інструментом у реформуванні транспортної інфраструктури. Від забезпечення безпеки даних і прозорості управління активами до оптимізації логістичних операцій та підвищення екологічної відповідальності — блокчейн пропонує інноваційні рішення для широкого спектру викликів, з якими стикається галузь.

Проте, разом з величезним потенціалом, перед широким впровадженням блокчейну в транспортній інфраструктурі стоять і значні виклики, включаючи питання масштабування, інтеграції з існуючими системами та регуляторні обмеження.

У майбутньому успіх застосування блокчейн в транспортній інфраструктурі буде залежати не тільки від технологічного розвитку, а й від здатності галузі адаптуватися до нових бізнес-моделей, а також від готовності регуляторних органів підтримати інноваційні підходи.

З огляду на це, важливо продовжувати дослідження та розробку в цій області, а також сприяти створенню сприятливого середовища для експериментів та пілотних проєктів.

Тільки через співпрацю між урядами, приватним сектором та науковою спільнотою можна буде повністю реалізувати потенціал блокчейну для створення більш безпечної, ефективної та сталої транспортної інфраструктури, що відповідає потребам сучасного суспільства.

У підсумку, розгляд застосування блокчейну в транспортній інфраструктурі демонструє, що ця технологія має потенціал радикально трансформувати сектор, пропонуючи новітні рішення для давніх проблем, таких як безпека даних, прозорість операцій, ефективність логістики та сталість розвитку.

Через свої унікальні характеристики — децентралізацію, незмінність записів, та використання інтелектуальних контрактів — блокчейн відкриває шлях для підвищення прозорості та зменшення шахрайства, оптимізації ланцюгів поставок, підвищення ефективності міжмодальних перевезень, та розвитку екологічно чистих ініціатив.

Однак, необхідно визнати існуючі виклики на шляху інтеграції блокчейну в цей сектор, зокрема, питання масштабування, сумісності з існуючими технологіями, а також необхідність розробки відповідних нормативних рамок. Успішне подолання цих перешкод вимагатиме координованих зусиль урядів, приватного сектору, наукової спільноти та громадськості.

Перспективи застосування блокчейну в транспортній інфраструктурі є значними та багатограними, обіцяючи не тільки технологічне вдосконалення та економічну ефективність, але й сприяння розвитку сталого та інклюзивного транспортного середовища.

З огляду на це, подальші дослідження та інноваційні експерименти в цій сфері не лише бажані, але й необхідні для повної реалізації потенціалу блокчейну, який може стати ключовим драйвером для майбутнього розвитку транспортної інфраструктури на користь усього суспільства.

Висновки з проведеного дослідження. Отже, дослідження показує, що блокчейн-технології мають значний потенціал для радикальної трансформації транспортної інфраструктури, пропонуючи інноваційні рішення для підвищення прозорості, безпеки та ефективності операцій. Основні сфери застосування блокчейн у транспортній галузі включають управління ланцюгами поставок, автоматизацію процесів обміну документами, спільне використання даних, мікроплатежі та безготівкові розрахунки.

Незважаючи на значний потенціал, впровадження блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі стикається з рядом невирішених питань. Технічні виклики включають масштабованість та швидкість обробки транзакцій, що є ключовими проблемами для більшості існуючих платформ. Інтеграція блокчейн-рішень з існуючими транспортними системами вимагає значних зусиль і ресурсів. Також існують правові та регуляторні бар'єри, пов'язані з впровадженням нових технологій.

Застосування блокчейну для створення цифрових двійників відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності та надійності транспортної

інфраструктури. Це покращує управління активами, своєчасне обслуговування та модернізацію інфраструктури на основі точних та актуальних даних.

Подальші дослідження та інноваційні експерименти в цій сфері є необхідними для повної реалізації потенціалу блокчейну. Важливо продовжувати дослідження та розробку в цій області, сприяти створенню сприятливого середовища для експериментів та пілотних проєктів.

Перелік посилань

1. Тільняк, Ю.Я. і Корнага, Я.І. Дослідження та застосування технології блокчейн у транспортній логістиці. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*. 2019. № 1(83). С. 12–17.
2. Петренко О.І., Алексеєва О.О. Практика використання блокчейн-технології в мультимодальних контейнерних перевезеннях. *Бізнесінформ*. 2024. № 1. С. 178-186.
3. Кудирко О.В. Інновації в логістиці: перспективи використання технології блокчейн у ланцюгах поставок. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2017. Вип 15(1). С. 158-163.
4. Балан О.С., Лук'янчук К.П. Інтеграція технології blockchain у процес цифрової трансформації в секторі морського транспорту. *Економічний журнал Одеського політехнічного університету*. 2021. № 4 (18). С. 94-98.
5. Керничний Б. Зарубіжний та вітчизняний досвід застосування технології блокчейн в транспортно-логістичному обслуговуванні. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2020. Вип. 2 (23). С. 46-56.
6. Swan, M. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media, 2015. 152 p.
7. Mougayar, W. *The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*. Wiley, 2016. 208 p.
8. Tapscott, D., Tapscott, A. *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Portfolio, 2016. 384 p.
9. Casey, M. J., Wong, P. Global Supply Chains Are About to Get Better, Thanks to Blockchain. *Harvard Business Review*, 2017. URL: <https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain>. (дата звернення: 25.04.2024).
10. Petersen, M.D., Hackius, N., von See, B. Mapping the Sea of Opportunities: Blockchain in Supply Chain and Logistics. *IT Information Technology*, 2018, 60(5-6), P. 263-271.
11. World Economic Forum. *Blockchain Deployment Toolkit*, 2020. URL: [https://widgets.weforum.org/blockchain-toolkit/pdf/WEF Redesigning Trust Blockchain Deployment%20Toolkit.pdf](https://widgets.weforum.org/blockchain-toolkit/pdf/WEF_R redesigning_Trust_Blockchain_Deployment%20Toolkit.pdf) (дата звернення: 28.04.2024).
12. IBM Blockchain. *TradeLens: Supply Chain on the Blockchain*. Вебсайт IBM. URL: <https://www.ibm.com/blockchain/solutions/tradelens> (дата звернення: 28.04.2024).

13. Helbiz Official Website. Helbiz Mobility System. URL: <https://helbiz.com> (дата зверення: 28.04.2024).

References

1. Tilniak, Yu.Ia. i Kornaha, Ya.I. (2019). Research and application of blockchain technology in transport logistics [Doslidzhennia ta zastosuvannia tekhnolohii blokchein u transportnii lohistytsi]. *Bulletin of the Higher State Technical University. Series "Technical Sciences"*. No. 1(83). P. 12–17.
2. Petrenko, O.I., Aleksieieva, O.O. (2024). Practice of using blockchain technology in multimodal container transportations [Praktyka vykorystannia blokchein-tekhnolohii v multymodalnykh konteinernykh perevezenniakh]. *Business Inform.* No. 1. P. 178-186.
3. Kudyenko, O.V. (2017). Innovations in logistics: prospects for the use of blockchain technology in supply chains [Innovatsii v lohistytsi: perspektyvy vykorystannia tekhnolohii blokchein u lantsiuhakh postavok]. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University*. Vol. 15(1). P. 158-163.
4. Balan, O.S., Lukianchuk, K.P. (2021). Integration of blockchain technology into the process of digital transformation in the maritime transport sector [Intehratsiia tekhnolohii blockchain u protses tsyfrovoi transformatsii v sektori morskoho transport]. *Economic Journal of Odesa Polytechnic University*. No. 4 (18). P. 94-98.
5. Kernychnyi, B. (2020). Foreign and domestic experience of using blockchain technology in transport and logistics services [Zarubizhnyi ta vitchyzniani dosvid zastosuvannia tekhnolohii blokchein v transportno-lohistychnomu obsluhovuvanni]. *Socio-economic problems and the state*. Vol. 2 (23). P. 46-56.
6. Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media. 152 p.
7. Mougayar, W. (2016). *The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*. Wiley. 208 p.
8. Tapscott, D., Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Portfolio. 384 p.
9. Casey, M.J., Wong, P. (2017). Global Supply Chains Are About to Get Better, Thanks to Blockchain. *Harvard Business Review*, available at: <https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain>. (last accessed 25.04.2024).
10. Petersen, M. D., Hackius, N., von See, B. (2018). Mapping the Sea of Opportunities: Blockchain in Supply Chain and Logistics. *IT Information Technology*, Vol. 60(5-6), P. 263-271.
11. World Economic Forum. (2020). *Blockchain Deployment Toolkit*. available at: https://widges.weforum.org/blockchain-toolkit/pdf/WEF_Redesigning_Trust_Blockchain_Deployment%20Toolkit.pdf (last accessed 28.04.2024).

12. *IBM Blockchain. (n.d.). TradeLens: Supply Chain on the Blockchain*, available at: <https://www.ibm.com/blockchain/solutions/tradelens> (last accessed 28.04.2024).

13. *Helbiz Official Website. (n.d.). Helbiz Mobility System*, available at: <https://helbiz.com> (last accessed 28.04.2024).

РЕФЕРАТИ ABSTRACTS

УДК: 338.4: 656.6 JEL Classification: O33, R40, L91

Дмитрієва О.І., Стогул К.М., ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЛОКЧЕЙНУ З АКЦЕНТОМ НА ТРАНСПОРТНУ ІНФРАСТРУКТУРУ

Мета: застосування блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі, зокрема ідентифікація основних переваг та недоліків, а також визначення технічних, правових і організаційних викликів, що стоять на шляху впровадження цих технологій. **Методика дослідження:** метод аналізу та синтезу, системний підхід, метод узагальнення, метод порівняння, критичний аналіз. **Результати:** Дослідження показує, що блокчейн-технології мають значний потенціал для радикальної трансформації транспортної інфраструктури, пропонуючи інноваційні рішення для підвищення прозорості, безпеки та ефективності операцій. Основні сфери застосування блокчейн у транспортній галузі включають управління ланцюгами поставок, автоматизацію процесів обміну документами, спільне використання даних, мікроплатежі та безготівкові розрахунки. Незважаючи на значний потенціал, впровадження блокчейн-технологій у транспортній інфраструктурі стикається з рядом невирішених питань. Технічні виклики включають масштабованість та швидкість обробки транзакцій, що є ключовими проблемами для більшості існуючих платформ. Інтеграція блокчейн-рішень з існуючими транспортними системами вимагає значних зусиль і ресурсів. Також існують правові та регуляторні бар'єри, пов'язані з впровадженням нових технологій. Застосування блокчейну для створення цифрових двійників відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності та надійності транспортної інфраструктури. Це покращує управління активами, своєчасне обслуговування та модернізацію інфраструктури на основі точних та актуальних даних. **Наукова новизна:** Наукова новизна полягає у виявленні значного потенціалу блокчейн-технологій для створення цифрових двійників, що покращує управління активами та модернізацію транспортної інфраструктури. Отримало подальший розвиток дослідження використання блокчейну для спільного використання даних і автоматизації процесів обміну документами в транспортній галузі. **Практична значущість:** Практична значущість впровадження блокчейн-технологій у транспортну інфраструктуру полягає у її актуальності та застосовності для подолання сучасних викликів, з якими стикається транспортний сектор. В умовах зростаючої потреби у підвищенні прозорості, безпеки та ефективності

транспортних операцій, розроблена методика пропонує інноваційні рішення, які можуть бути впроваджені на різних рівнях транспортної системи.

Ключові слова: блокчейн-технології, транспортна інфраструктура, управління ланцюгами поставок, автоматизація процесів, прозорість, безпека даних.

UDC 338.4:656.6 JEL Classification: O33, R40, L91

Dmytriieva O.I., Stohul K.M., PECULIARITIES OF BLOCKCHAIN APPLICATION WITH AN EMPHASIS ON TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Purpose. The purpose of the study is to explore the application of blockchain technologies in transport infrastructure, specifically identifying the main advantages and disadvantages, as well as the technical, legal, and organizational challenges in implementing these technologies. **Research Methodology.** The research methodology includes the method of analysis and synthesis, a systematic approach, the method of generalization, the method of comparison, and critical analysis. **Result.** The study shows that blockchain technologies have significant potential to radically transform transport infrastructure, offering innovative solutions to increase transparency, security and efficiency of operations. The main applications of blockchain in the transport industry include supply chain management, document exchange automation, data sharing, micropayments and cashless payments. Despite the significant potential, the introduction of blockchain technologies in transport infrastructure faces a number of unresolved issues. Technical challenges include scalability and transaction processing speed, which are key issues for most existing platforms. Integrating blockchain solutions with existing transport systems requires significant effort and resources. There are also legal and regulatory barriers associated with the introduction of new technologies. The use of blockchain to create digital twins opens up great prospects for improving the efficiency and reliability of transport infrastructure. It improves asset management, timely maintenance and modernisation of infrastructure based on accurate and up-to-date data. **Originality:** The scientific novelty lies in the identification of the significant potential of blockchain technologies for creating digital twins, which improves asset management and modernisation of transport infrastructure. The study of the use of blockchain for data sharing and automation of document exchange processes in the transport sector was further developed. **Practical Significance.** The practical significance of the implementing blockchain technologies in transport infrastructure lies in its relevance and applicability for overcoming contemporary challenges faced by the transport sector. In the context of the growing need to enhance transparency, security, and efficiency of transport operations, the developed methodology offers innovative solutions that can be implemented at various levels of the transport system.

Keywords: blockchain technologies, transport infrastructure, supply chain management, process automation, transparency, data security

Відомості про авторів / About the Authors

Дмитрієва Оксана Іллівна – доктор економічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувачка кафедри економіки і підприємництва, м. Харків, Україна; e-mail: oksanahnadu@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9314-350X>. Моб. (063) 353-79-98.

Стогул Кіра Максимівна – здобувач вищої освіти другого (бакалаврського) рівня, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна; e-mail: stogulkira@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7104-6281>. Моб. (066) 370-82-37.

Dmytriieva Oksana – Dr.Sc. in Economics, Professor, Kharkov National Automobile and Highway University, Head of the Department of Economics and Business, Kharkiv, Ukraine.

Stohul Kira – higher education student of the first (bachelor's) level, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine.