

УДК 004:338

JELclassification C89, L91, O14, R4

Лариса Некрасенко, к. б. н., доцент

(доцент кафедри економіки, маркетингу та бізнес-адміністрування, Державний університет інфраструктури та технологій)

ORCID ID 0000-0002-2867-6139

Андрій Онищук,

(здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, Державний університет інфраструктури та технологій)

ORCID ID 0009-0002-8563-8232

ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БЛОКЧЕЙН НА ТРАНСПОРТІ

У статті подано огляд літератури щодо застосування технології блокчейн та інформаційних технологій у транспорті та логістиці. Основною метою було виявити поточні тенденції досліджень, основні прогалини в літературі та можливі майбутні виклики. Систематизовано загальні та транспортні проблеми, що виникають у застосуванні технології блокчейн та проведено поглиблений аналіз найвпливовіших публікацій у наступних сферах: ланцюги поставок і логістика; управління дорожнім рухом і «розумні» міста. Найважливішим висновком є те, що технологія блокчейн все ще перебуває на ранніх стадіях розвитку. Однак вона є надзвичайно багатообіцяючою для потенційних застосувань у багатьох сферах транспорту та логістики, таких як відстеження ланцюга постачання, дотримання нормативних вимог, інтелектуальна безпека транспортного засобу, координація попиту та пропозицій. За останні роки було теоретично розроблено декілька моделей дорожнього руху, управління вибором маршрутів користувачами. Проте дуже мало з них реалізовано в реальних умовах. Крім того, було досліджено зв'язок між блокчейном і сталим розвитком та потенційні можливості застосування технологій блокчейн в результаті конвергенції таких послуг як Інтернет речей, штучний інтелект, 5G і розподілені інтелектуальні об'єкти. Це показало, що ця технологія може стати пусковим механізмом для зменшення викидів вихлопних газів, сприяти належному розвитку міст і покращенню якості життя. Але на сьогоднішній день існує багато перешкод для впровадження блокчейну в транспортному секторі та логістиці. Серед них слід назвати брак знань і досвіду, фінансові обмеження, такі як незрілість технології, нерішучість у прийнятті технології блокчейн через негативне сприйняття громадськістю, культурні відмінності партнерів по ланцюгу поставок і відсутність державної політики та недостатня залученість зовнішніх зацікавлених сторін. Іншими суттєвими обмеженнями є неготовність учасників ланцюга ділитися інформацією, обмеження на кількість транзакцій за одиницю часу, тобто питання оптимізації продуктивності та масштабованості, а також регуляторна невизначеність. Тому потрібно докласти багато зусиль, щоб технологія блокчейн набула практичного поширення у транспортних системах.

Ключові слова: технологія блокчейн, ланцюги поставок, логістика, інформаційні технології, оптимізація продуктивності.

© Некрасенко Л.А., Онищук О.А., 2024

Постановка проблеми. Блокчейн – це загальновизнана інновація, заснована на технології розподіленої книги, яка виникла в результаті зусиль анонімних розробників для створення безпечної цифрової валюти. Цифрові валюти, які базуються на блокчейні, є визнаними крипто валютами, оскільки вони опираються на криптографічні математичні інструменти. Перший блокчейн виник із статті, анонімно опублікованої в 2008 році в списку розсилки про криптографію на сайті metzdowd.com [1]. З 2008 року великий розвиток початкових концепцій призвів до створення багатьох розподілених і активних ланцюгів децентралізованих блоків. Концепція блокчейну включає в себе різні види знань і є технічно складною. Було розроблено багато додатків для систем даних блокчейн, і багато вчених і фінансових експертів очікують великих інновацій, зосереджених на цій інноваційній концепції, особливо в секторі логістики [2,3,4]. Деякі автори навіть визначили цю нову технологію як руйнівну з посиланням на сферу транспорту [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом різко зросла кількість наукових робіт, опублікованих на теми, пов'язані з блокчейном. Багато з наукових внесків [6] стосуються технічних тем, які є основними проблемами технології блокчейн (далі ВТ), таких як безпека, зручність використання, конфіденційність та невитрачені ресурси.

Існує багато нових технологічних особливостей блокчейну. У багатьох відношеннях впровадження технологій блокчейн може позитивно вплинути на управління транспортом. У дуже добре зробленому звіті Catapult Transport Systems [5] технологія блокчейн вважається потенційно руйнівною для транспортних систем; водночас цей звіт демонструє той факт, що багато експертів, які беруть участь в опитуванні про тенденції ВТ, здається, не дуже поінформовані про цю нову систему. Ця робота завершується демонстрацією того, як конвергенція нових послуг і технологій, таких як мобільність як послуга (MaaS), IoT, штучний інтелект (AI) із глибоким навчанням, 5G (нове покоління протоколу бездротової мобільної передачі даних), може змінити майбутнє логістики та транспорту.

Найбільш обговорюваною темою з точки зору застосування ВТ у транспорті є логістика [7, 8, 9, 10]. У глобалізованому світі більшість галузей мають розвивати ефективні та довгі ланцюжки поставок, щоб досягти успіху. Це означає, що складність доставки та відстеження вантажів має відповідати відповідним інформаційним системам. ВТ можуть виконувати багато різних функцій, захищаючи товари та дані від будь-яких зловмисних атак в багатоагентних ланцюгах поставок. ВТ дає можливість контролювати якість зберігання продукції під час транспортування та гарантувати походження продукції, тим самим створюючи довіру між постачальниками. Різноманітні важливі проблеми можуть бути вирішені в управлінні ланцюгом поставок за допомогою блокчейну, такі як контроль вартості та якості, уникнення підробок, швидкість передачі, звітування про зупинені товари, зниження ризику та гнучкість.

Мета статті є проведення поглибленого аналізу найвпливовіших публікацій у наступних сферах: ланцюги поставок і логістика; управління дорожнім рухом і «розумні» міста. Основною метою було виявити поточні тенденції досліджень, основні прогалини в літературі та можливі майбутні виклики.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технологія блокчейн заснована на технології розподіленої книги. У блокчейні інформація зберігається на багатьох комп'ютерах, які можуть перебувати в різних частинах світу і зберігати ту саму базу даних. Кожен комп'ютер, на якому зберігається розподілена база даних, називається «вузлом» мережі блокчейн. База даних у блокчейні структурована в блоки, які тиражуються та копіюються на всіх вузлах мережі. Кожен блок генерується та однозначно пов'язується з попереднім блоком за допомогою системи криптографічних підписів, створюючи хронологічний ланцюжок блоків і містить інформацію щодо транзакцій.

Як наслідок своєї структури, блокчейн пропонує деякі особливі функції. На додаток до того факту, що вони децентралізовані вони також незмінні та незворотні, можуть бути прозорими, і базуються на певній формі консенсусу.

Транзакції та інформація, які зберігаються в блокчейні, стають публічними та незмінними. Блок неможливо змінити або підробити, оскільки криптографічний алгоритм, застосований для однозначного з'єднання наступних блоків, робить будь-які зміни неможливими. Кожен блок також має позначку часу. Блокчейн може засвідчити обмін інформацією між різними об'єктами в мережі, навіть якщо дві сторони ніколи не зустрічалися і не довіряють одна одній, і без потреби в надійному проміжному або центральному об'єкті. З цієї причини блокчейн вважається здатним створювати довіру та тіснішу співпрацю між потенційними партнерами, які можуть бути географічно далеко один від одного.

Крім перерахованих вище технологічних особливостей, існує також багато проблем, які необхідно вирішити на практиці:

- блокчейн може бути екологічно дорогим, якщо має підтвердження роботи на основі комп'ютерних розрахунків, оскільки може споживати неймовірну кількість енергії.
- відсутність регулювання може створити ризики для користувачів. Смарт-контракти є дуже новою програмою, яку ще потрібно тестувати на практиці, щоб зрозуміти обмеження застосування. Для прикладу, в історії крипто валюти відбулось шахрайське втручання в мережу Ethereum, де було заподіяне зловмисне використання існуючого і погано спланованого смарт-контракту. Це дало змогу шахраям отримати еквівалент 50 мільйонів доларів з мережі децентралізованої автономної організації (DAO) у 2016 році [11].
- блокчейн являє собою досить складну систему, і багато потенційних користувачів можуть не розуміти переваг і не приймати цю технологію.
- блокчейн також може бути повільними в транзакціях, коли вони стають основними і не є найкращим місцем для зберігання величезної кількості даних. Іншими словами, існує також проблема масштабованості, про яку свідчить оригінальна система Bitcoin [12].

Що стосується транспортних засобів, системи на основі блокчейну досліджуються, особливо в дорожній галузі у зв'язку з концепцією нових автономних і підключених транспортних засобів.

Такі відомі компанії, як IBM і Maersk, створили партнерські відносини для дослідження впровадження блокчейну. Багато зацікавлених сторін можуть покладатися на блокчейн, щоб завоювати довіру та керувати потоком інформації. Можна полегшити відстеження вздовж ланцюжка поставок, що додає цінності кінцевому продукту: кожна передача товарів може бути зафіксована та підтверджена через консенсус усіх суб'єктів блокчейну. Основна проблема в цих додатках ВТ ланцюга поставок полягає в тому, щоб подолати труднощі гарантування того, що фізичний рівень відповідає цифровому рівню. Багато застосувань було запропоновано також в автомобільному секторі та для інтелектуальних транспортних систем (ITS) [13]. Автомобільна промисловість могла б використовувати ВТ для переведення своїх продуктів на сервіси МaaS (мобільність як сервіс), а також могла б запропонувати такі послуги як дистанційне технічне обслуговування транспортних засобів на основі програмного забезпечення, страхові послуги, послуги інтелектуальної зарядки та послуги спільного використання автомобілів. Багато компаній, таких як Arcade City і La'Zooz, інвестували в бізнес, заснований на обміні автомобілями та даними. Може з'явитися багато потенційних застосувань ВТ, особливо в системах ITS, де підключені та автономні транспортні засоби можуть скористатися перевагами цієї інновації та конвергенції ІоТ та МaaS.

Блокчейн для інтелектуальних транспортних системи і взаємозв'язку розумних транспортних засобів вважається дієвим засобом для: підвищення довіри та забезпечення обміну грошима і інформацією, мінімізації зловмисних атак на автомобілі шляхом підвищення

стандартів безпеки [14], покращення схем керування ключами, та надання юридичного супроводу у разі ДТП. Важлива галузь досліджень стосується електромобілів і, зокрема, відповідності між попитом і пропозицією енергії для підзарядки: використання смарт-контрактів і блокчейн технології дійсно може сприяти безпечним механізмам аукціону [15].

Слід зазначити, що розробка, впровадження та підтримка робочого блокчейну є складним завданням, яке вимагає великих обчислювальних ресурсів. За визначенням, блокчейн – це розподілена книга, тому для неї потрібна мережа вузлів, які діють як сервери для системи, тоді як класичні бази даних розміщуються на одному сервері. Щоб підтримувати активність різних вузлів, необхідно запровадити певну форму стимулу для різних власників вузлів, щоб забезпечити децентралізацію і унеможливити одноосібне керування всіма вузлами.

На рисунку 1 зображено основні проблеми, які випливають із нашого дослідження. Перш за все, можна виявити деякі загальні проблеми: довіра, відповідність нормативним вимогам, децентралізація, обмін інформацією та узгодження попиту та пропозиції (тобто використання смарт-контрактів).

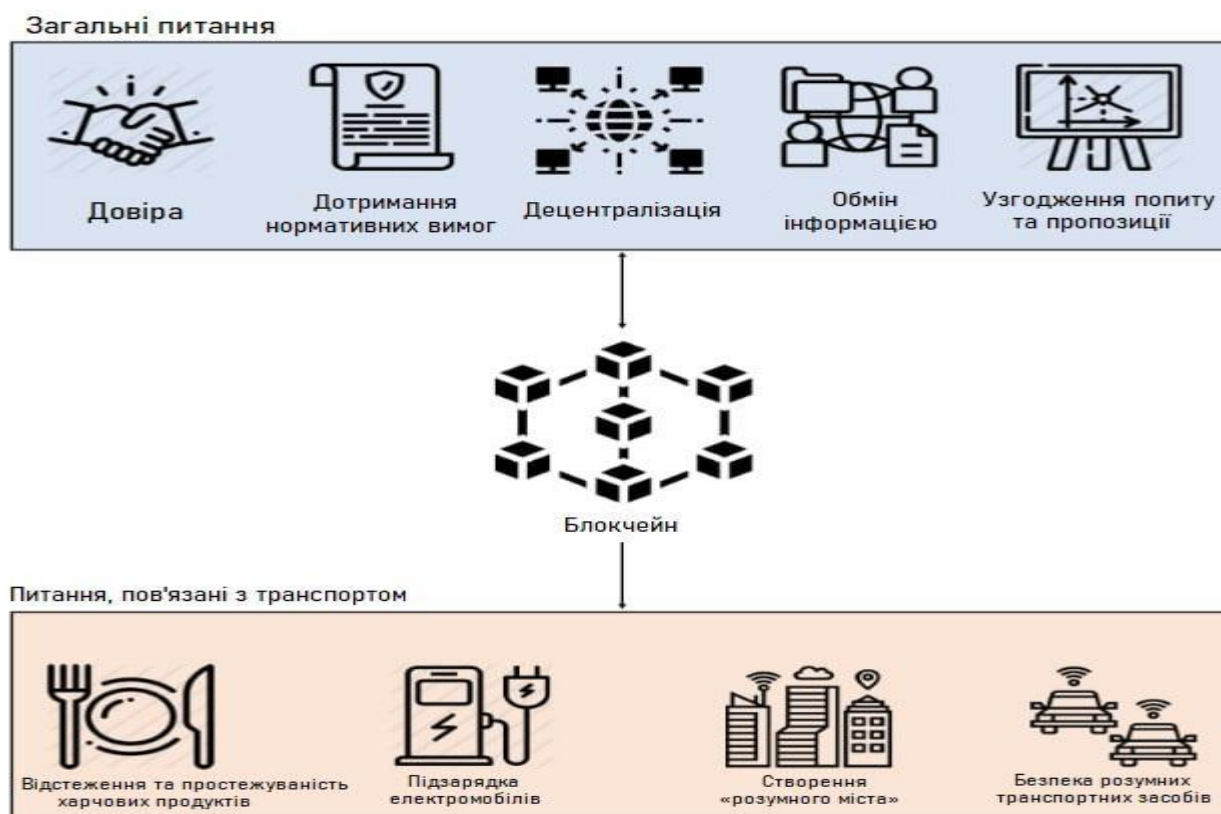


Рис. 1. Загальні та транспортні проблеми, що виникають у застосуванні технології блокчейн

Джерело: складено на основі [23]

Однак існують також чотири основні проблеми, пов'язані з транспортом: відстеження товару, підзарядка електромобілів, підтримка розумного міста та безпека розумного автомобіля. Ці чотири проблеми розглядаються нижче, включаючи в обговорення п'ять виявлених загальних проблем, а також висвітлюючи поточний стан техніки та можливі майбутні перспективи дослідження.

Відстеження товарів є одним з головних дослідницьких завдань на протязі останніх кількох десятиліть. Вчені запропонували декілька підходів для підвищення якості та безпеки доставки продуктів харчування: RFID, QR-код, NFC, онтологія тощо. Основна мета - надати кінцевому споживачеві всю інформацію про процеси, які пройшов продукт до полиці. Зокрема, відстеження означає можливість збирати всю інформацію про різні етапи ланцюга постачання харчових продуктів від початку до кінця, тоді як можливість відстежувати їх шлях є здатністю реконструювати історію продукту в зворотному напрямку. Однак навіть сьогодні існує низка недоліків, оскільки багато систем відстеження шляху є неефективними і шахрайство все ще досить поширене. У цьому контексті технологія блокчейн дає величезну можливість покращити відстеження харчових продуктів: децентралізація загальної системи дозволяє уникнути існування третіх сторін, і це робить обмін інформацією між учасниками швидшим та ефективнішим; записана інформація зберігається з часом, і досить легко відстежити автора, який залишив її в системі. Крім того, немає проблеми несумісності між інформаційними системами різних залучених організацій, оскільки можна використовувати єдину платформу. Основні майбутні перспективи дослідження такі: необхідність мати реальні тематичні дослідження, оскільки симуляції, представлені в літературі, недостатні для демонстрації здійсненності блокчейну; деякі компанії практично застосовують цю технологію в ланцюгах постачання харчових продуктів, але поки що існує мало реальних академічних досліджень. Враховуючи, що багато ланцюгів поставок, особливо в сільському господарстві, потребують модернізації, слід дослідити вплив, який впровадження мобільних пристроїв може мати на суб'єктів господарювання: витрати на навчання учасників і переосмислення процесів ланцюга повинні бути найбільш досліджені в найближчі кілька років.

Ще одним напрямком застосування блокчейн є формування інфраструктури для електромобілів. Електромобілі стають все більш поширеними, як і станції для їх підзарядки. Одна з головних цілей застосування технології блокчейн є встановлення відповідності між попитом і пропозицією енергії. З одного боку, є група автомобілістів, які, виходячи зі свого географічного розташування, виявляють потребу в підзарядці в певний часовий проміжок, а з іншого - група постачальників енергії, які можуть визначати ціни, виходячи з попиту і конкурентів. Цей механізм може бути вигідним для обох сторін, оскільки водії зможуть щоразу обирати найдешевшу пропозицію в своєму регіоні, а постачальники зможуть швидко змінювати ціни, максимізуючи очікуваний прибуток. Фактично, використання смарт-контрактів могло б уможливити механізми аукціонів. Однак необхідно докласти значних зусиль, щоб зробити архітектуру на основі блокчейну достатньо масштабованою [15]; адже з роками кількість автомобілістів і постачальників, які можуть вирішити приєднатися до екосистеми електромобілів, може різко зрости. Функціональні можливості, які пропонує блокчейн (наприклад, безпечні платежі за допомогою криптовалюти), можуть стати тим тригером, який дасть остаточний поштовх поширенню електромобілів.

Створення «розумного» міста та безпека «розумних» транспортних засобів є ще одним напрямком застосування блокчейн. Багато міст визначаються як "розумні" за наявності таких ознак: широкосмуговий зв'язок, кваліфікована робоча сила та цифрова інклюзія. Однією з головних цілей «розумних» міст є поліпшення послуг, що пропонуються громадянам, зниження адміністративних витрат за рахунок використання технологій. З огляду на те, що використання IoT, хоча і є дуже корисним, призводить до проблем безпеки в управлінні даними. Тож впровадження технології блокчейн могло б вирішити цю важливу проблему. У найближчому майбутньому майже всі транспортні засоби, що виробляються і продаються, будуть називатися «розумними», тобто матимуть можливість підключатися до інтернету і спілкуватися один з одним. Крім того, в цьому випадку основні проблеми стосуються конфіденційності та безпеки [14]. Фактично, використання централізованих інфраструктурних об'єктів створює тривожну проблему контролю над даними з боку одного

суб'єкта. Впровадження технології блокчейн може означати, що водії зможуть безпечніше обмінюватися інформацією про своє місцезнаходження в реальному часі, умови руху та будь-які несподівані події, такі як ДТП. Однак навіть у цьому випадку існує велика потреба в практичних експериментах: бракує впроваджених проектів розумних міст, а схильність водіїв ділитися дуже конфіденційною інформацією (наприклад, географічним розташуванням) також повинна бути ретельно оцінена і проаналізована (наприклад, можна було б роздати водіям деякі анкети, щоб мати повну картину). Важливо зазначити, що затори є однією з головних проблем сучасних міст і однією з основних причин забруднення повітря. Їх зменшення є великим викликом сьогодення. Традиційні зусилля для вирішення проблеми заторів були зосереджені на спробах перемістити попит на транзитну систему та на краще управління дорожнім рухом за допомогою таких інструментів, як моделювання дорожнього руху [16], динамічні рівноваги завантаження мережі та динамічні моделі [17] для моделювання та управління вибором маршрутів користувачами [18]. Нові технології, такі як інтелектуальні транспортні системи та кооперативні інтелектуальні транспортні системи (C-ITS), також розглядалися для підвищення стійкості дорожнього руху, хоча справжні інновації, можливо, прийдуть від майбутнього покоління транспортних засобів, які будуть електричними, «підключеними» і «автономними». Багато хто вважає, що нові транспортні засоби є ключем до повної трансформації транспортних мереж з точки зору зменшення споживання енергії, підвищення безпеки та зменшення забруднення. Майбутнє впровадження автономних транспортних засобів і перехід від паливних технологій до електромобілів має потенціал, по суті, повністю змінити сектор дорожнього руху: товари і люди будуть переміщатися безпілотними автономними транспортними засобами в «розумних» містах. У цьому майбутньому сценарії транспортні засоби також повинні будуть самостійно заправлятися, а нинішня парадигма транзакцій на основі кредитних карток може стати неадекватною для обміну послугами та енергією між машинами. Проблема управління довірою в автомобільних мережах [19] може бути вирішена за допомогою технологій блокчейн, а нові безпечні системи на основі технології блокчейн можуть підтримати розробку і розгортання електричної та автономної мобільності, де всі транзакції «трансляються» і зберігаються в безпечній, відкритій і незмінній базі даних.

Посилаючись на раніше проаналізовані питання, пов'язані з транспортуванням, слід звернути увагу на велику близькість між двома термінами - блокчейн і сталий розвиток:

- Використання смарт-контрактів може стимулювати зростання ринку електромобілів з відповідними вигодами для навколишнього середовища, враховуючи скорочення викидів вихлопних газів.
- Обмін інформацією між автомобілістами, стимульований механізмами винагороди за допомогою відповідної криптовалюти, може зменшити трафік у переповнених міських районах, покращуючи якість життя.
- Технологія блокчейн може призвести до постійного збільшення кількості «розумних» міст, що сприятиме сталому розвитку міст.

Інші потенційні можливості застосування технологій блокчейн можуть з'явитися в результаті конвергенції нових послуг і технологій, таких як мобільність як послуга (MaaS), Інтернет речей, штучний інтелект (ШІ) з глибоким навчанням, 5G і розподілені інтелектуальні об'єкти. Ця конвергенція може створити сприятливе середовище для технологій блокчейн і визначити умови для розвитку блокчейн-додатків в інших транспортних секторах, які ще не були широко висвітлені в літературі: транзитні, залізничні, морські та авіаперевезення. Технології блокчейн можуть бути впроваджені в цих секторах, коли рівень розвитку транспортних систем досягне того рівня, який чітко передбачений для автомобільних перевезень і який передбачає майбутнє впровадження автономних і підключених транспортних засобів.

У цілому, однак, існують певні «перешкоди» для впровадження блокчейну в транспортному секторі [20]. Вони були класифіковані на: внутрішньо організаційні бар'єри (брак знань і досвіду; фінансові обмеження), системні бар'єри (такі як незрілість технології; нерішучість у прийнятті технології блокчейн через негативне сприйняття громадськістю), між організаційні бар'єри (культурні відмінності партнерів по ланцюгу поставок) і зовнішні бар'єри (відсутність державної політики і недостатня залученість зовнішніх зацікавлених сторін). Іншими суттєвими обмеженнями є: неготовність учасників ланцюга ділитися інформацією [21], обмеження на кількість транзакцій за одиницю часу порівняно з іншими гравцями, такими як Visa або Mastercard (тобто питання продуктивності та масштабованості) [22], а також регуляторна невизначеність. Ці бар'єри є лише деякими з тих, що обговорюються в літературі. Загалом, технологія розподіленої книги все ще вимагає дослідження і тестування на шляху до широкомасштабного впровадження в транспорті.

Висновки та пропозиції. Актуальність технології блокчейн для транспортного і логістичного сектору є безумовною. Технологія блокчейн може покращити простеження логістичних шляхів та ступінь інтегрованості управління ланцюгами поставок, збільшити довіру між учасниками ланцюга поставок та оптимізувати обмін даними. Впровадження блокчейн технологій часто пов'язане з поширенням Інтернету речей. «Підключений» транспортний засіб стане частиною IoT, і це є причиною зростаючої популярності технологій блокчейн в управлінні дорожнім рухом в розумних містах. Спільний обмін даними, транзакції та будь-які інші обміни даними, які стануть можливими між «автономними» і «підключеними» транспортними засобами, можуть бути полегшені завдяки використанню технології блокчейн, і зможуть гарантувати функції, які не можуть бути гарантовані традиційними базами даних.

Технологія блокчейн, що застосовуються в транспортному секторі, знаходиться на стадії розвитку. І хоча багато авторів виступають за використання цієї технології, існують також певні побоювання щодо практичного застосування, оскільки деякі ранні блокчейн-проекти зазнали невдачі в перші роки розгортання. Дебати триватимуть доти, доки не буде розгорнуто і використано багато додатків, і доки не буде належним чином "оформлена" конкретна прикладна сфера застосування технології блокчейн. Позитивний і об'єктивний висновок, який впливає з нашого огляду, полягає в тому, що в світі зростає інтерес до застосування блокчейну в транспортному секторі. Однак ще потрібно провести багато досліджень економічної ефективності, оптимізації та транспортної інженерії, щоб ця технологія набула практичного поширення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nakamoto, S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008. URL: www.bitcoin.org (дата звернення 07.08.2024).
2. Hackius, N., & Petersen, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?. In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, Vol. 23 (pp. 3-18). Berlin: epubli GmbH. URL: [doi:10.15480/882.1444](https://doi.org/10.15480/882.1444) (дата звернення 07.08.2024).
3. Dickson, B. Blockchain Has the Potential to Revolutionize the Supply Chain. URL: <https://techcrunch.com/2016/11/24/blockchain-has-the-potential-to-revolutionize-the-supply-chain> (дата звернення 07.08.2024).
4. Casey, M.J.; Wong, P. Global Supply Chains Are About to Get Better, Thanks to Blockchain. URL: <https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain> (дата звернення 07.08.2024).
5. Carter, C., & Koh, L. (2018). Blockchain disruption in transport: are you decentralised yet? URL: <https://trid.trb.org/View/1527923> (дата звернення 07.08.2024).
6. Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? A systematic review. *PloS one*, 11(10), e0163477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477> (дата звернення 07.08.2024).

7. Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of information management*, 39, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005> (дата звернення 07.08.2024).
8. Керничний Б. Зарубіжний та вітчизняний досвід застосування технології блокчейн в транспортно-логістичному обслуговуванні. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2020. 2 (23). С. 46-56. <https://doi.org/10.33108/sep2020.02.046> (дата звернення 04.09.2024)
9. Корнага Я.І., Тільняк Ю.Я. Дослідження та застосування технології блокчейн у транспортній логістиці. *Вісник ЖТУ*. 2019. № 1 (83) с.12-17. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-12-17](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-12-17) (дата звернення 04.09.2024)
10. Кудирко О.В. Інновації в логістиці: перспективи використання технології блокчейн у ланцюгах поставок. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2017. Вип. 15(1). С. 158-163. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2017_15\(1\)_36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2017_15(1)_36). (дата звернення 04.09.2024).
11. Mehar, M.I., Shier, C. L., Giambattista, A., Gong, E., Fletcher, G., Sanayhie, R., ... & Laskowski, M. (2019). Understanding a revolutionary and flawed grand experiment in blockchain: the DAO attack. *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)*, 21(1), 19-32. DOI: 10.4018/JCIT.2019010102 (дата звернення 04.09.2024).
12. Herrera-Joancomartí, J., & Pérez-Solà, C. (2016). Privacy in bitcoin transactions: new challenges from blockchain scalability solutions. In *Modeling Decisions for Artificial Intelligence: 13th International Conference, MDAI 2016, Sant Julià de Lòria, Andorra, September 19-21, 2016. Proceedings 13* (pp. 26-44). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45656-0_3 (дата звернення 04.09.2024).
13. Dorri, A., Steger, M., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2017). Blockchain: A distributed solution to automotive security and privacy. *IEEE communications magazine*, 55(12), 119-125. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700879 (дата звернення 04.09.2024)
14. Nakasumi, M. (2017). Information sharing for supply chain management based on block chain technology. In *2017 IEEE 19th conference on business informatics (CBI)* (Vol. 1, pp. 140-149). IEEE. DOI: 10.1109/CBI.2017.56 (дата звернення 04.09.2024).
15. Sharma, P.K., Moon, S.Y., & Park, J.H. (2017). Block-VN: A distributed blockchain based vehicular network architecture in smart city. *Journal of information processing systems*, 13(1), 184-195. DOI: 10.3745/JIPS.03.0065 (дата звернення 10.09.2024).
16. Young, W., Sobhani, A., Lenné, M. G., & Sarvi, M. (2014). Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling. *Accident Analysis & Prevention*, 66, 89-103. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.01.008> (дата звернення 10.09.2024)
17. Gentile, G. (2018). New formulations of the stochastic user equilibrium with logit route choice as an extension of the deterministic model. *Transportation science*, 52(6), 1531-1547. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0839> (дата звернення 10.09.2024)
18. Kucharski, R., & Gentile, G. (2019). Simulation of rerouting phenomena in dynamic traffic assignment with the information comply model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 126, 414-441. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.12.001> (дата звернення 14.09.2024)
19. Kerrache, C.A., Calafate, C.T., Cano, J.C., Lagraa, N., & Manzoni, P. (2016). Trust management for vehicular networks: An adversary-oriented overview. *IEEE Access*, 4, 9293-9307. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2645452 (дата звернення 04.09.2024)
20. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International journal of production research*, 57(7), 2117-2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261> (дата звернення 04.09.2024)
21. Kembro, J., Selviaridis, K., & Näslund, D. (2014). Theoretical perspectives on information sharing in supply chains: a systematic literature review and conceptual framework. *Supply chain management: An international journal*, 19(5/6), 609-625. <https://doi.org/10.1108/SCM-12-2013-0460> (дата звернення 14.09.2024)
22. Vlastelica, R. Why Bitcoin Won't Displace Visa or Mastercard Soon. URL: <https://www.marketwatch.com/story/why-bitcoin-wont-displace-visa-or-mastercard-soon-2017-12-15> (дата звернення 14.09.2024).
23. Astarita, V., Giofrè, V. P., Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). A Review of Blockchain-Based Systems in Transportation. *Information* 11, no. 1: 21. <https://doi.org/10.3390/info11010021> (дата звернення 14.09.2024)

REFERENCES

1. Nakamoto, S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008. Available at: www.bitcoin.org (accessed 07 August 2024).
2. Hackius, N., & Petersen, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?. In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment. Proceedings*

of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Vol. 23 (pp. 3-18). Berlin: epubli GmbH. Available at: doi:10.15480/882.1444 (accessed 07August 2024).

3. Dickson, B. Blockchain Has the Potential to Revolutionize the Supply Chain. Available at: <https://techcrunch.com/2016/11/24/blockchain-has-the-potential-to-revolutionize-the-supply-chain> (accessed 07August 2024).

4. Casey, M.J.; Wong, P. Global Supply Chains Are About to Get Better, Thanks to Blockchain. Available at: <https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain> (accessed on 07.08.2024).

5. Carter, C., & Koh, L. (2018). Blockchain disruption in transport: are you decentralised yet? Available at: <https://trid.trb.org/View/1527923>(accessed 07August 2024).

6. Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? A systematic review. *PloS one*, 11(10), e0163477. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477> (accessed 07August 2024).

7. Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of information management*, 39, pp. 80-89. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005> (accessed 07August 2024).

8. Kernychnyi, B. (2020) Zarubizhnyi ta vitchyzniani dosvid zastosuvannia tekhnolohii blokchein v transportno-lohistychnomu obsluhovuvanni [Foreign and domestic experience of application of blockchain technology in transport and logistics service]. *Sotsialno-ekonomichni problemy i derzhava*. Vol. 23, no. 2, pp. 46-56. Available at: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2020/20kbytlo.pdf> (in Ukrainian) (accessed 04 September 2024).

9. Kornaga Y.I., Tilnyak Yu.Ya. (2019) Doslidzhennya ta zastosuvannia tekhnolohiyi blokcheyn u transportniy lohistytsi (Research and application of blockchain technology in transport logistics Visnyk) *ZhTU*. 2019. No. 1 (83) pp.12-17. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-12-17](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-12-17) (in Ukrainian) (accessed 04 September 2024)

10. Kudyrko O. V. (2017) Innovatsiyi v lohistytsi: perspektyvy vykorystannya tekhnolohiyi blokcheyn u lantsyuhakh postavok. (Innovations in logistics: prospects for the use of blockchain technology in supply chains) *Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University. Series: International economic relations and world economy*. 2017. 15(1). 158-163. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2017_15\(1\)_36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2017_15(1)_36). (in Ukrainian) (accessed 04 September 2024).

11. Mehar, M. I., Shier, C. L., Giambattista, A., Gong, E., Fletcher, G., Sanayhie, R., ... & Laskowski, M. (2019). Understanding a revolutionary and flawed grand experiment in blockchain: the DAO attack. *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)*, 21(1), 19-32. DOI: 10.4018/JCIT.2019010102 (accessed 04 September 2024).

12. Herrera-Joancomartí, J., & Pérez-Solà, C. (2016). Privacy in bitcoin transactions: new challenges from blockchain scalability solutions. In *Modeling Decisions for Artificial Intelligence: 13th International Conference, MDAI 2016, Sant Julià de Lòria, Andorra, September 19-21, 2016. Proceedings 13* (pp. 26-44). Springer International Publishing. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45656-0_3 (accessed 04 September 2024).

13. Dorri, A., Steger, M., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2017). Blockchain: A distributed solution to automotive security and privacy. *IEEE communications magazine*, 55(12), 119-125. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700879 (accessed 04 September 2024).

14. Nakasumi, M. (2017, July). Information sharing for supply chain management based on block chain technology. In *2017 IEEE 19th conference on business informatics (CBI)* (Vol. 1, pp. 140-149). IEEE. DOI: 10.1109/CBI.2017.56 (accessed 04 September 2024).

15. Sharma, P. K., Moon, S. Y., & Park, J. H. (2017). Block-VN: A distributed blockchain based vehicular network architecture in smart city. *Journal of information processing systems*, 13(1), 184-195. DOI: 10.3745/JIPS.03.0065 (accessed 10 September 2024).

16. Young, W., Sobhani, A., Lenné, M. G., & Sarvi, M. (2014). Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling. *Accident Analysis & Prevention*, 66, 89-103. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.01.008> (accessed 10 September 2024).

17. Gentile, G. (2018). New formulations of the stochastic user equilibrium with logit route choice as an extension of the deterministic model. *Transportation science*, 52(6), pp. 1531-1547. Available at: <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0839> (accessed 10 September 2024).

18. Kucharski, R., & Gentile, G. (2019). Simulation of rerouting phenomena in dynamic traffic assignment with the information comply model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 126, pp. 414-441. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.12.001> (accessed 14 September 2024).

19. Kerrache, C. A., Calafate, C. T., Cano, J. C., Lagraa, N., & Manzoni, P. (2016). Trust management for vehicular networks: An adversary-oriented overview. *IEEE Access*, 4, pp. 9293-9307. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2645452 (accessed 04 September 2024).

20. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International journal of production research*, 57(7), pp. 2117-2135. Available at: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261> (accessed 04 September 2024).

21. Kembro, J., Selviaridis, K., & Näslund, D. (2014). Theoretical perspectives on information sharing in supply chains: a systematic literature review and conceptual framework. *Supply chain management: An international journal*, 19(5/6), pp. 609-625. Available at: <https://doi.org/10.1108/SCM-12-2013-0460> (accessed 14 September 2024).
22. Vlastelica, R. Why Bitcoin Won't Displace Visa or Mastercard Soon. Available at: <https://www.marketwatch.com/story/why-bitcoin-wont-displace-visa-or-mastercard-soon-2017-12-15> (accessed 14 September 2024).
23. Astarita, V., Giofrè, V. P., Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). A Review of Blockchain-Based Systems in Transportation. *Information* 11, no. 1: 21. Available at: <https://doi.org/10.3390/info11010021> (accessed 10 September 2024).

**Larysa Nekrasenko, Candidate of Sciences in Biology, Associate Professor,
(Associate Professor of the Department of Economics, Marketing and Business Administration,
State University of Infrastructure and Technologies)**

**Andrii Onyshchuk,
(Postgraduate Student, State University of Infrastructure and Technologies)**

OVERVIEW OF APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN TRANSPORT

The article provides an overview of the literature on the application of blockchain technology and information technologies, in transport and logistics. The main goal was to identify current research trends, major gaps in the literature, and possible future challenges. General and transport problems arising in the application of blockchain technology were systematized. An in-depth analysis was also conducted of the most influential publications in the following areas: supply chains and logistics, traffic management and smart cities. The most important takeaway is that blockchain technology is still in its early stages of development. However, it is extremely promising for potential applications in many areas of transportation and logistics, such as supply chain tracking, regulatory compliance, intelligent vehicle safety, and supply and demand coordination. In recent years, several models of road traffic, management of the choice of routes by users have been theoretically developed. However, very few of them are implemented in real conditions. In addition, the relationship between blockchain and sustainable development and the potential applications of blockchain technologies as a result of the convergence of such services as the Internet of Things, artificial intelligence, 5G and distributed intelligent objects were explored. It showed that this technology can become a trigger for reducing exhaust gas emissions, contributing to the proper development of cities and improving the quality of life. But as of today, there are many obstacles to blockchain adoption in the transportation and logistics sector. These include lack of knowledge and experience, financial constraints such as technology immaturity, hesitancy to adopt blockchain technology due to negative public perception, cultural differences of supply chain partners, and lack of public policy and insufficient involvement of external stakeholders. Other significant limitations are the reluctance of chain participants to share information, limitations on the number of transactions per unit of time, i.e. productivity optimization and scalability issues, and regulatory uncertainty. Therefore, a lot of effort needs to be made to make blockchain technology practical in transportation systems.

Keywords: blockchain technology, supply chains, logistics, information technologies, productivity optimization.

Стаття прийнята до друку 18 жовтня 2024 року