

Гончарова Ю. Ю.

*аспірант кафедри міжнародних економічних відносин  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*

Honcharova Yuliia

*Postgraduate Student of the Department of International Economic Relations  
V. N. Karazin Kharkiv National University*

## ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН ЯК ОСНОВА СТРАТЕГІЇ ІНДУСТРІЇ 4.0

**Анотація.** У статті проаналізовано потенціал застосування технології блокчейн в Індустрії 4.0. Розглянуто специфічні особливості Індустрії 4.0, що необхідні для покращення взаємодії між суб'єктами. Виявлено та описано проблеми, що виникають під час використання технології блокчейн як основи Індустрії 4.0. У статті перераховано та проаналізовано переваги впровадження технології блокчейн у програми Індустрії 4.0, притаманні всім галузям. Здійснено огляд вертикального з'єднання інтелектуальних виробничих систем, що у процесі діяльності беруть участь у ланцюгу створеної вартості та горизонтальної інтеграції суб'єктів діяльності, які під час взаємодії виконують економічні або прості транзакції даних. З огляду на реальні потреби, вирішення яких є актуальним, наведено та описано варіанти використання технології блокчейн в Індустрії 4.0. Розглянуто можливість відстеження товарів виробництва по всьому ланцюгу поставок. Виявлено можливості, які отримає учасник завдяки відстеженню товарів та впровадженню Промислового Інтернету Речей (ІоТ) як джерела даних. Розглянуто функціональну сумісність і незалежність промислових даних. Проаналізовано надійність ІоТ, в основу якого буде закладено децентралізовану структуру технології блокчейн.

**Ключові слова:** технологія блокчейн, Індустрія 4.0, Інтернет Речей, Промисловий Інтернет Речей (ІоТ), ланцюжки створення вартості, заводи розумної індустрії.

**Вступ та постановка проблеми.** Технологія блокчейн може принести безліч переваг у багатьох галузях, а також стати дуже корисним інструментом для Індустрії 4.0. Однак блокчейн не завжди є оптимальним вибором для вирішення кожної проблеми. Наприклад, у приватних мережах традиційні бази даних зазвичай надають швидкий і потужний інструмент для багатьох додатків. Більш того, вже існують інші технології, які мають таку саму мету, що і блокчейн, та можуть бути зручнішими для Індустрії 4.0, особливо для ІоТ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням технології блокчейн та її впровадження в основу Індустрії 4.0 присвячені праці таких учених, як Х. Цай, Б. Сюй, Л. Цзян, В. Васілакос, Х. Кагерманн, Р. Андерл, Т.М. Фернандес-Карамес, П. Фрага-Ламас, Дж. Роос. Поза увагою залишився детальний аналіз основних переваг та недоліків впровадження технології блокчейн, що притаманні всім галузям.

**Метою** роботи є аналіз потенціалу застосування технології блокчейн в Індустрії 4.0.

**Результати дослідження.** Для вирішення питання застосування блокчейн-технології перш за все необхідно розпізнати певні функції, які необхідні для функціонування технологій Індустрії 4.0. Розглянемо специфічні особливості Індустрії 4.0.

По-перше, блокчейн може бути корисний, коли необхідна децентралізація. Не кожна технологія Індустрії 4.0 вимагає децентралізації, але деякі можуть мати вигоду, особливо коли існує централізована система, якій не довіряють. Це відбувається в певних галузях, де в певний момент немає довіри конкретним постачальникам, банкам тощо.

Коли необхідно здійснити платежі чи транзакції, то необхідна довіра між обома сторонами. Більш того, наявність платіжної системи може використовуватися для автоматизації багатьох систематичних завдань, відповідно, прискорення транзакцій між сторонами [2]. Можна здійснювати платежі через традиційні платіжні системи, але вони часто мають два недоліки: вони зазвичай вимага-

ють більш високих комісій за транзакції [2], на відміну від публічного блокчейну, а також їм потрібно майже наоціп довіряти, не надаючи сумніву їх безпеку, етику або внутрішню політику [2].

Довіра й прозорість є причинами для створення загальнодоступних журналів транзакцій. Ці журнали включають певну інформацію з відмітками часу, яка може бути вивчена всіма об'єктами, які взаємодіють з ланцюжком блоків. Деякі програми Індустрії 4.0 строго дотримуються цього підходу та зберігають кожну виконану транзакцію, щоби мати можливість проводити аудит, вести точні записи відстеження або використовувати методи великих даних чи прогностичну аналітику [1]. Варто зазначити, що такі функції традиційно надавалися базам даних, безпека яких має велике значення, особливо коли вони доступні через Інтернет, отже, публічно піддаються атакам на їх доступність або конфіденційність даних.

Ще одна важлива функція, яка може знадобитися для Індустрії 4.0 та її програм, – це необхідність використання Р2Р-комунікацій для обміну даними між різними сторонами, які беруть участь у виробничих процесах. Це дуже часто зустрічається в певних структурах ІоТ, вузли яких взаємодіють для виявлення певних подій або виконання завдань [2].

Важливо підкреслити, що Р2Р-комунікації не завжди є кращою альтернативою для забезпечення комунікацій, існують альтернативні комунікаційні підходи, які розробник Індустрії 4.0 має проаналізувати.

Ще однією необхідною особливістю є надійність розподіленої системи. Оскільки існують хороші альтернативи, що надаються серверними фермами або хмарами [2], мають бути інші фактори, що зможуть звернути увагу саме на використання технології блокчейн. Найбільш частою причиною є відсутність довіри до організації, яка управляє інфраструктурою. Іншою причиною є вимоги до конфіденційності, зазначені клієнтом. Це важливо за використання блокчейну в об'єктах критичних інфраструктур [3], а також їх захисту, адже дані кожної інфраструктури мають зберігатися через надійних постачаль-

ників послуг, особливо в країнах, де конфіденційність і безпека не можуть бути гарантовані [3].

Програми Індустрії 4.0 мають також проблеми, оскільки в них задіяно безліч суб'єктів (наприклад, вузли IoT, оператори, машини, постачальники, клієнти), які можуть не довіряти один одному. Розроблення та впровадження технології блокчейн у програмах Індустрії 4.0 передбачає такі серйозні проблеми, які потребують подальших досліджень.

1) Масштабованість. Структури, вибрані для підтримки Індустрії 4.0 на основі технології блокчейн, мають витримувати значний обсяг трафіку, який зазвичай генерується різними програмами. Така кількість даних може бути проблемою для традиційних централізованих хмарних структур, які останніми роками еволюціонували в бік структур, які, як правило, надають найосновніші послуги близько до місць, де вони фізично необхідні, як це відбувається з абстрактними та туманними обчисленнями структури [2].

2) Криптосистеми для пристроїв з обмеженими ресурсами. Багато пристроїв, які працюють на підприємствах Індустрії 4.0, мають дуже обмежені обчислювальні ресурси, тому вони не можуть впоратися із сучасними безпечними схемами криптографії з відкритим ключем [4].

3) Конфіденційність і безпека. Конфіденційність даних, сертифікація ідентичності та цілісність даних, як і раніше, є проблемами, які необхідно вирішувати належним чином, особливо для пристроїв з обмеженими ресурсами.

4) Енергоефективність, пропускна здатність і час очікування. У разі енергоефективності використання неефективних протоколів та обчислювальних складних криптографічних алгоритмів впливає на споживання енергії в кожному сценарії, хоча такі фактори мають вирішальне значення під час використання пристроїв на батарейках чи акумуляторах. Щодо пропускну здатності та затримки блокчейну на них впливає те, як працює алгоритм консенсусу, як блоки додаються до ланцюжка блоків [2]. Фактично обидва чинники зазвичай збільшують затримку й значно скорочують загальний час порівняно, наприклад, із традиційними системами баз даних, тому може бути важко забезпечити відповіді на події в реальному часі.

5) Необхідна інфраструктура. Використання технологій блокчейн вимагає розгортання певної апаратної інфраструктури, наприклад додаткового сховища або обладнання [3].

6) Сумісність і стандартизація. Нині більшість компаній розробляє власні рішення для технології блокчейн, але сумісність між ними необхідна в багатьох сценаріях для досягнення безшовних [2] інтеграцій.

Незважаючи на проблеми, технології Індустрії 4.0 можуть отримати значні переваги від використання технології блокчейн.

Завод Індустрії 4.0 має розгорнути мережі таким чином, щоб інтелектуальні виробничі системи з'єднувались вертикально. У «розумному» заводі [5] вертикальне з'єднання – це тип зв'язку між двома об'єктами, які беруть участь у ланцюжку створення вартості продукту. Отже, коли таке з'єднання стає автоматизованим, інформація може збиратися та автоматично відправлятися з безлічі систем, розгорнутих на заводі, в будь-яку з відповідних частин ланцюжка створення вартості. Блокчейн може допомогти у вертикальній інтеграції, надаючи загальну надійну точку обміну даними, через яку можуть взаємодіяти декілька інтелектуальних («розумних») заводів [5].

Технології Індустрії 4.0 також мають бути інтегровані по горизонталі [5]. Це означає, що виробники, постачальники та клієнти повинні співпрацювати. Такий рівень інтеграції передбачає розгортання гнучких комунікацій-

них мереж з незначною затримкою, тому блокчейн може стати механізмом горизонтальної інтеграції для суб'єктів, що беруть участь у процесах Індустрії 4.0, для виконання економічних або простих транзакцій з даними. Крім того, щодо зв'язку між клієнтами та компаніями, то це може бути досягнуто переважно за рахунок використання інтелектуального обладнання [5] та соціальних мереж, безпека яких має велике значення, тому вони також можуть взаємодіяти за допомогою блокчейну.

Заводи розумної індустрії (Індустрії 4.0) також вимагають динамічної інтеграції етапів проєктування [5] та розроблення по всьому ланцюжку створення вартості. Метою цієї інтеграції є забезпечення швидкої реакції зворотного зв'язку, отриманої від різних учасників ланцюжка створення вартості. Таким чином, блокчейн може використовуватися для виконання згаданих взаємодій, а для прискорення виконання певних бюрократичних завдань можуть використовуватися смарт-контракти.

Нижче наведені варіанти використання блокчейну в Індустрії 4.0, які принесли найбільшу користь, відповідаючи на реальні потреби, вирішення яких залишається актуальним.

1) Можливість відстежувати походження товарів. Відстеження промислових товарів по всьому ланцюжку поставок, зокрема відстеження життєвого циклу продукту, є найбільш очікуваною програмою, яка матиме значний вплив на короткострокову та середньострокову перспективу галузі.

Для будь-якої ланки в ланцюжку дуже важливо мати можливість відстежувати місце призначення й використання його компонентів. Завдяки цій інформації учасник ланцюжка поставок та створення доданої вартості зможе:

- аналізувати вплив будь-яких змін у дизайні та складі свого продукту;
- прогнозувати зміни у звичках та тенденціях споживання;
- уникати ручного вводу даних про продукти та компоненти, отримані постачальниками;
- автоматизувати розгляд скарг і гарантій без необхідності оформлення документів;
- уникати повторного використання сертифікатів походження.

У великих галузях промисловості спроєктовані та побудовані системи відстеження походження товарів, що засновані на традиційних (централізованих) структурах і стали доступними по всьому своєму галузевому ланцюжку поставок [6]. Однак ці системи не отримали широкого визнання, й продовжують існувати тільки ті, які пов'язані з безпекою харчових продуктів, що є обов'язковим.

Крім того, оброблення інформації в традиційній системі дуже складна, щоб гарантувати суверенітет і захист промислових даних [6].

Блокчейн гарантує суверенітет і захист передачі зложеної інформації між користувачем і компанією завдяки розподіленій структурі. Відбувається гарантія за допомогою криптографії, видимості та використання даних, а також забезпечення однакового підходу до всіх учасників мережі.

Однак важливим моментом є максимізація та автоматизація збору даних у максимально можливій мірі, тому промислові проєкти вважають, що Промисловий Інтернет Речей (IoT) має бути джерелом більшості даних, які надходять у ланцюжок відстеження. Більш того, ця інформація повинна бути підписана за допомогою криптографічного обладнання в цих пристроях IoT, щоб надійність даних була винятковою [1].

2) Функціональна сумісність і незалежність промислових даних. Дані та їх використання стануть ключовими

в цій новій промисловій парадигмі [7]. Ось чому кажуть, що дані – це нова промислова сировина, і їх суверенітет сьогодні є ключовим моментом.

Існує кілька ініціатив, які можна було б назвати платформою промислових даних, які спрямовані на управління даними промислових процесів та їх спільне використання, а також створення на їх основі додаткових послуг [7].

Можливо, обслуговування за поточним технічним станом разом з іншими випадками аналізу даних та приписів є найбільш поширеним та відчутним випадком сьогодні [7], але очікується, що насправді платформи промислових даних стануть основою для інноваційних пропозицій бізнес-моделей і промислових послуг, які сьогодні ми навіть уявити собі не можемо. Однак нині існує серйозна перешкода для впровадження таких платформ, і знову ж таки це надійність промислових даних та їх захист.

3) Надійність Промислового Інтернету Речей (IIoT). Однією з основних переваг застосування технології блокчейн для IIoT є децентралізована структура, яку блокчейн може запропонувати IIoT (Інтернет Речей) загалом, особливо промисловій екосистемі, вимоги якої є більш жорсткими [1].

Нині структура цих систем являє собою класичний клієнт-сервер, який має низку перешкод і недоліків для такого середовища, як IIoT та IIoT. Очікується, що структура клієнт-серверу не зможе реагувати на експоненціальне зростання IIoT та IIoT загалом [1]. У цьому разі виникне перешкода у вигляді величезної кількості пристроїв, що

генерують та споживають інформацію від третіх осіб. Для того щоб уявити цю кількість пристроїв, обладнання, що керує виробничим процесом, генерує сотні мільйонів даних та параметрів щорічно, а на середньому підприємстві можна знайти десятки або сотні пристроїв.

Вартість централізованої обробки, мережевого обладнання та інших видів зв'язку для підтримки перехресного трафіку між різними промисловими системами (клієнтами), що мають залежність один від одного, була б експоненційною [7], якщо б усі ці комунікації проходили через центральну систему (сервер). Крім того, ця центральна система являтиме собою головну перешкоду для всіх підключених пристроїв та єдину точку відмови, яка в разі компрометації може призвести до зупинки виробництва на мільйони євро на одному підприємстві.

**Висновки.** Таким чином, використання технології блокчейн може надати підтримку технологіям Індустрії 4.0. Незважаючи на проблеми масштабованості, конфіденційності, безпеки тощо, все це має змінитися з появою блокчейну, який зможе вирішити більшість проблем.

Індустрія 4.0 стимулює використання різних нових технологій, які змінять спосіб взаємодії людей між собою та з їх робочим середовищем. Блокчейн може діяти як центр обміну інформацією, користувачі якого не залежать від технологій і мають тільки реалізувати відповідні клієнтські функції блокчейну. Можна стверджувати, що дослідження в галузі технології блокчейн та її впровадження у технології Індустрії 4.0 тільки зароджуються.

#### References:

1. Cai H., Xu B., L. Jiang and Vasilakos V. (2017) Iot-based big data storage systems in cloud computing: Perspectives and challenges. *IEEE Internet Things J*, vol. 4, no. 1, pp. 75–87. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7600359> (accessed: 03.09.2020).
2. Fernández-Caramés T.M. and Fraga-Lamas P. (2019) A review on the application of blockchain to the next generation of cyber-secure industry 4.0 smart factories. *IEEE Access*, vol. 7. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8678753> (accessed 03 September 2020).
3. Fraga-Lamas P. (2017) Enabling technologies and cyber-physical systems for mission-critical scenarios. Available at: <http://hdl.handle.net/2183/19143> (accessed: 03.09.2020).
4. Roos J. (2018) Identity management on the blockchain, pp. 105. Available at: [https://doi.org/10.2313/NET-2018-11-1\\_14](https://doi.org/10.2313/NET-2018-11-1_14) (accessed 04 September 2020).
5. Finance AT. (2015) Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. *Finance, Audit Tax Consulting Corporate*. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf> (accessed 04 September 2020).
6. Kagermann H., Aderl R., Gausemeier J., Schuh G., Wahlster W. (2016) Industries 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners. *Herbert Utz Verlag*, pp. 19–21. Available at: <https://books.google.com.ua/books?hl=en&lr=&id=6BidDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=Kagermann+H,+Aderl+R,+Gausemeier+J,+Schuh+G,+Wahlster+W.+Industries+4.0+in+a+Global+Context:+Strategies+for+Cooperating+with+International+Partners> (accessed 05 September 2020).
7. Lage O. (2019) Blockchain: From Industry 4.0 to the Machine Economy. *Blockchain and Distributed Ledger Technology (DLT)*. Available at: <https://www.intechopen.com/online-first/blockchain-from-industry-4-0-to-the-machine-economy> (accessed 05 September 2020).

#### ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН КАК ОСНОВА СТРАТЕГИИ ИНДУСТРИИ 4.0

**Аннотация.** В статье проанализирован потенциал применения технологии блокчейн в Индустрии 4.0. Рассмотрены специфические особенности Индустрии 4.0, необходимые для улучшения взаимодействия между субъектами. Выявлены и описаны проблемы, возникающие при использовании технологии блокчейн в качестве основы Индустрии 4.0. В статье перечислены и проанализированы преимущества внедрения технологии блокчейн в программы Индустрии 4.0, присущие всем отраслям. Осуществлен обзор вертикального соединения интеллектуальных производственных систем, которые в процессе деятельности принимают участие в цепи созданной стоимости и горизонтальной интеграции субъектов деятельности, которые при взаимодействии выполняют экономические или простые транзакции данных. С учетом реальных потребностей, решение которых является актуальным, приведены и описаны варианты использования технологии блокчейн в Индустрии 4.0. Рассмотрена возможность отслеживания товаров производства по всей цепи поставок. Выявлены возможности, которые получит участник благодаря отслеживанию товаров и внедрению Промышленного Интернета Вещей (IIoT) в качестве источника данных. Рассмотрены функциональная совместимость и независимость промышленных данных. Проанализирована надежность IIoT, в основу которого будет заложена децентрализованная структура технологии блокчейн.

**Ключевые слова:** технология блокчейн, Индустрия 4.0, Интернет Вещей, Промышленный Интернет Вещей (IIoT), цепочки создания стоимости, заводы умной индустрии.

### BLOCKCHAIN AS THE BASIS OF INDUSTRY 4.0

**Summary.** The article analyzes the potential application of the blockchain technology in Industry 4.0. The specific features of Industry 4.0 are considered. Among the specific features, special attention is paid to the decentralization, because in a centralized system there is often no trust between the entities, the creation of public transaction logs based on trust and transparency, using of P2P communications to exchange data between the entities and the reliability of the distributed system. The problems that arise using the blockchain technology as the basis of Industry 4.0 are identified and described. The most serious problems are scalability, because cloud structures must withstand the significant traffic, cryptosystems for devices with limited resources, data confidentiality, data security, energy efficiency of protocols and computational complex cryptographic algorithms, bandwidth of the blockchain, interoperability and latency standards. This article is lists and analyzes the benefits of implementing of the blockchain technology in Industry 4.0 programs inherent for all industries. An overview of the vertical connection of the intelligent production systems, which is in the process of activity participate in the value chain and horizontal integration of the business entities, which when interacting with each other perform economic or simple data transactions. Based on the real needs, the solution of which is relevant today, the options for using the blockchain technology in Industry 4.0 are given and described. The possibility of tracking the goods of production throughout the supply chain is considered. The opportunities that the participant will receive due to product tracking and the introduction of the Industrial Internet of Things (IIoT) as a data source have been identified. Interoperability and independence of the industrial data are considered. The reliability of the Industrial Internet of Things (IIoT) is analyzed, which will be based on a decentralized structure of blockchain technology. The result of IIoT functioning, if we retain the centralized structure, which is the basis of IIoT, is given.

**Key words:** blockchain technology, Industry 4.0, Internet of Things, Industrial Internet of Things (IIoT), value chains, smart industry factories.