

## УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В СУЧАСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ БЛОКЧЕЙНУ

*Анотація. Сучасна світова промисловість проживає трансформацію того, як компанії розробляють, виробляють і розповсюджують товари та послуги, зосереджуючись на більшій ефективності, гнучкості та підлаштуванню під потреби сучасного світу. Ці процеси відбуваються під впливом впровадження в промисловість інформаційних технологій, та часто описуються терміном "Індустрія 4.0", в якому описуються концепції цифровізації, автоматизації та взаємозв'язку у промислових секторах, появи розумних фабрик і об'єднаних ланцюжків поставок, що створює великі об'єми даних для аналізу та обробки, що створює нові виклики у питаннях адаптації інформаційних технологій. Тому є актуальною задача дослідження нових моделей та методів управління потоками даних у інформаційних системах, які можуть поліпшити взаємодію та прискорити адаптацію інформаційних технологій в різних промислових секторах економіки. У роботі розглянуто підхід до побудови інформаційних систем в промисловості та бізнесі за допомогою технології блокчейну та потенціал цієї технології у вирішенні проблем управління потоками даних у сучасній промисловості.*

*Ключові слова: потоки даних, інформаційні системи, блокчейн, інформатизація, промисловість, ланцюги постачань, Blockchain.*

**Постановка проблеми.** Впровадження інформатизації у промисловості з метою автоматизації та налагодження взаємозв'язку у різних промислових секторах створює нові виклики в побудові інформаційних систем. Інтеграція передових технологій у виробництво, таких як штучний інтелект, Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення, аналітика великих даних та інші, створює великі потоки даних, які звичайні інформаційні системи промисловості часто не здатні своєчасно обробити та зреагувати на них, що може створювати затримки та помилки, які можуть призводити до неефективності ланцюгів поставок, затримок у виробництві та комунікації між промисловими секторами.

Крім цього, також існують проблеми прозорості та підзвітності інформаційних систем управління у промисловості, проблеми з безпекою, цілісністю даних, проблем відстеження процесів у реальному часі тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** "Індустрія 4.0" – це концепція промислової революції, яка ґрунтується на використанні сучасних технологій та цифрових інновацій у виробничих процесах. Введення концепції "Індустрії 4.0" було покликане покращити конкурентоспроможність європейської промисловості та підвищити продуктивність та якість продукції [1].

Для реалізації інформаційних систем та поліпшення управління потоками даних, які працюють за концепціями «Індустрії 4.0» в цій роботі пропонується використовувати технологію блокчейну.

Блокчейн – це розподілена структура даних, яка реплікується та поширюється між членами мережі. Перша специфікація блокчейну була запропонована разом із цифровою валютою Bitcoin у 2008 році людиною під псевдонімом Сатоші Накамото, щоб розв'язати проблему централізації фінансів навколо банків [2].

Зараз блокчейни використовують переважно у сфері децентралізованих фінансів (DeFi) у вигляді криптовалют та інструментів до них у вигляді обмінників, бірж, аукціонів, банків тощо. Також існують вузькоспеціалізовані іноземні дослідження на тему використання блокчейну у інших сферах інформатизації, крім фінансів. Наприклад, використання блокчейну у риболовецькій галузі [3].

На сьогоднішній день, серед вітчизняних вчених майже немає тих, хто займався б вивченням використання технології Blockchain у інформаційних системах промисловості та логістики.

Тому дослідження методів управління потоками даних в інформаційних системах промисловості та логістики є актуальним, яке спрямоване на економічну та управлінську доцільність використання блокчейну у інформаційних системах промисловості, ланцюгів постачання, логістики тощо.

**Метою дослідження** є удосконалення процесів автоматизації, підвищення ефективності, зменшення затримок та помилок в інформаційних системах промисловості та ланцюгах постачання за допомогою використання технологій блокчейну в побудові інформаційних систем.

**Основна частина.** «Індустрія 4.0» або «Промисловість 4.0» — це термін, який використовується для опису так званої «четвертої промислової революції», яка характеризується інтеграцією передових технологій у виробництво та інші галузі. «Індустрію 4.0» часто описують як трансформаційну парадигму, яка стимулює цифровізацію, автоматизацію та взаємозв'язок у промислових сек-

торах, що призводить до появи розумних фабрик і об'єднаних ланцюжків поставок [4].

У класичних інформаційних системах у промисловості та логістиці використовуються реляційні та нереляційні бази даних, такі як MySQL або MongoDB [5]. Доступ до даних отримується через центральний сервер, на якому ця база даних знаходиться. Сервер обробляє запити клієнтів, комп'ютерів, які хочуть отримати або змінити дані у базі даних, на отримання та запису даних. Такий підхід носить назву “клієнт-серверна архітектура” і є загальноживаним у індустрії [6].

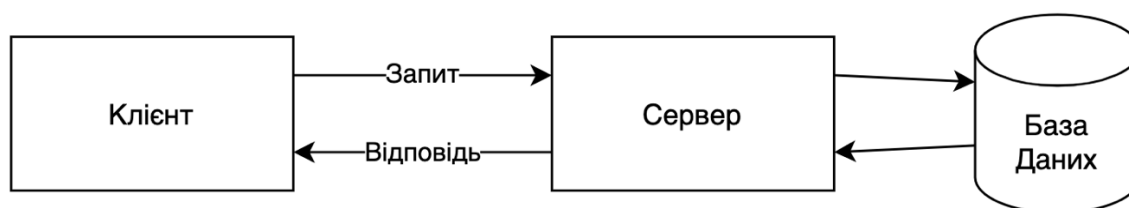


Рисунок 1 - Схема клієнт-серверної архітектури інформаційної системи

Але у великих інформаційних системах ланцюгів постачань та системах промисловості, де використовується постійний обмін даними між різними системами та їхніми клієнтами, для взаємодії у виробництві та логістиці, звичайна клієнт-серверна архітектура може виконувати свою роботу неефективно.

Цей збільшений потік даних створює низку проблем:

1. Ефективна аналітика даних.
2. Безпека, цілісність даних та конфіденційність даних в інформаційній системі.
3. Взаємодія з іншими системами та масштабування потоків даних у взаємодії між різними компонентами промислової екосистеми.

Ці проблеми можуть не дозволяти промисловості та бізнесу повністю реалізувати переваги концепту «Індустрії 4.0». Для рішення цих проблем в цій роботі пропонується взяти технологію блокчейну для управління потоками даних у інформаційних системах.

Технологія блокчейну на сьогоднішній день отримала розповсюдження у сфері електронних фінансів, але блокчейн також може знайти використання у логістиці, документообігу та засобі управління даними в інформаційних системах. Розглянемо які механізми дозволяють це зробити.

Блокчейн – це збудований за певними правилами безперервний послідовний ланцюжок блоків (зв'язковий список), що містять інформацію [7]. Зв'язок

між блоками забезпечується не тільки нумерацією, але й тим, що кожен блок містить власну хеш-суму і хеш-суму попереднього блоку. Зміна будь-якої інформації в блоці змінить його хеш-суму. Щоб відповідати правилам побудови ланцюжка, зміни хеш-суми потрібно буде записати в наступний блок, що викличе зміни його власної хеш-суми.

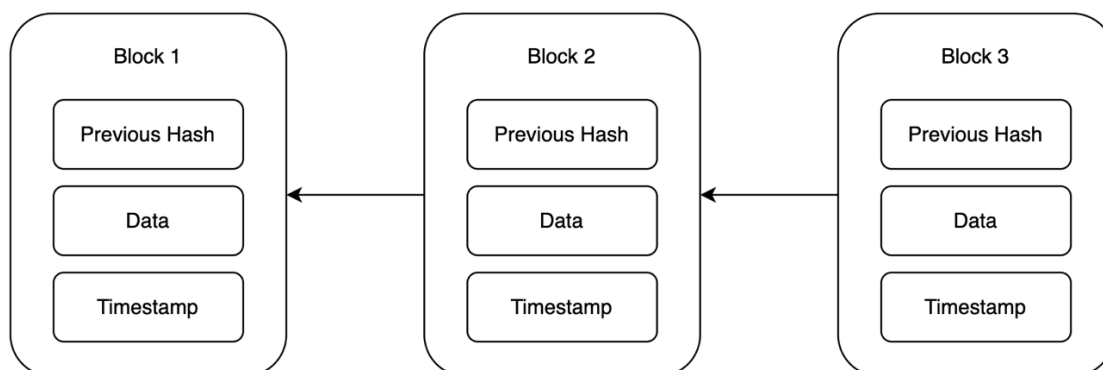


Рисунок 2 - Структурна схема блокчейну

Технологічною основою, якою будується блокчейн, є Distributed Ledger Technology (DLT). Ця технологія є розподіленою базою даних, яка зберігає записи транзакцій у кількох вузлах мережі, а чи не в єдиній централізованій базі даних. DLT не має центрального апарату, який контролює базу даних, і всі вузли мають однаковий статус.

DLT використовує криптографію для забезпечення безпеки та надійності бази даних. Кожна транзакція записується в блок ланцюжка блоків (блокчейн) і містить хеш попереднього блоку, що забезпечує безперервність ланцюжка. Крім того, DLT забезпечує можливість створення розумних контрактів, які автоматично виконуються під час виконання певних умов.

Одним із основних елементів DLT є хеш-функція, яка використовується для створення унікального ідентифікатора для блоку даних. Хеш-функція може бути представлена такою формулою:

$$H(x) = y,$$

де  $H(x)$  — хеш-функція, застосована до даних  $x$ , а  $y$  — результуюче хеш-значення.

Іншим важливим елементом DLT є консенсус-протокол, який використовується для досягнення згоди між учасниками мережі щодо поточного стану блокчейну. Консенсус-протоколи можуть бути представлені різними математичними моделями, такими як модель прийняття рішень або ігор.

Алгоритми консенсусу використовуються в технології блокчейн, щоб гарантувати, що всі вузли в мережі погоджуються щодо стану блокчейну. Формула для алгоритму консенсусу може змінюватися залежно від конкретного алгоритму, який використовується, але, як правило, вона включає набір правил, які визначають, як вузли в мережі взаємодіють і узгоджують стан блокчейну.

Так, наприклад, блокчейн Ethereum перейшов з алгоритму Proof-of-Work (PoW), який вимагав неекологічний процес «майнінгу» блоків за допомогою математичних розрахунків, на алгоритм Proof-of-Stake (PoS).

В алгоритмі консенсусу PoS ймовірність того, що вузол буде обрано для створення нового блоку, пропорційна сумі частки, яку він займає в мережі.

Формула для розрахунку ймовірності того, що вузол буде обраний творцем блоку:

$$P(\text{node}) = \left( \frac{S(\text{node})}{\sum S(i)} \right)^k,$$

де  $P(\text{node})$  – це ймовірність того, що вузол і буде обрано творцем блоку,  $S(\text{node})$  – це розмір частки, яку має вузол  $i$ , а  $\sum S(i)$  – це загальна сума частки, яку має мати мережа, змінна  $k$  є константою, яка визначає рівень випадковості в процесі вибору та зазвичай встановлюється протоколом мережі.

Для перевірки цілісності транзакцій та зберігання даних у блокчейні використовується структура даних Дерево Меркла. Воно отримало свою назву на честь Ральфа Меркла, який першим описав цю структуру у 1987 році.

У блокчейні, дерево Меркла використовується для забезпечення цілісності блоків, що становлять ланцюжок блоків. Кожен блок містить набір транзакцій, а дерево Меркла дозволяє швидко перевіряти, чи не були змінені транзакції в блоці.

Для побудови дерева Меркла кожен блок ділиться на кілька частин, наприклад, на транзакції, які входять в блок. Потім кожна частина хешується з використанням криптографічної хеш-функції, наприклад, SHA-256 і результати об'єднуються в пари. Кожна пара потім хешується знову, і цей процес повторюється до тих пір, поки не залишиться тільки один хеш, який називається кореневим хешом дерева Меркла.

В «Індустрії 4.0» дерево Меркла може бути використане для забезпечення цілісності даних у виробничих системах, таких як системи управління якістю або системи моніторингу виробничих процесів. Також воно може бути використане для забезпечення безпеки даних у системах керування постачанням, наприклад, для перевірки справжності документів та контрактів.

Припустимо, що ми маємо блок даних, який потрібно захистити від змін, і ми хочемо використовувати дерево Меркла для цієї мети. Ми починаємо з хешування кожного окремого елемента даних у блоці (наприклад, транзакцій), щоб отримати їхнє хеш-значення. Потім ми об'єднуємо хеш-значення попарно і хешуємо їх разом, щоб отримати нові хеш-значення, які є корінням піддерев дерева Меркла.

Цей процес повторюється до тих пір, поки всі хеш-значення не будуть об'єднані в одне хеш-значення, яке є коренем всього дерева Меркла.

Математично це може бути представлено такою формулою:

$$H = H_n(H_{n-1}(H_{n-2}(\dots(H_2(H_1(T_{x_1}, T_{x_2})).\dots)T_{x_{n-1}}), T_{x_n})),$$

де  $H$  – підсумкове хеш-значення кореня дерева Меркла,  $H_n$  - функція хешування,  $T_{x_n}$  - окремий елемент даних, які потрібно захистити.

Таким чином, дерево Меркла дозволяє ефективно захищати великі обсяги даних, забезпечуючи цілісність їх зберігання та передачі. У блокчейні дерево Меркла використовується для забезпечення цілісності блоків та підтвердження правильності хеш транзакцій, що є важливим елементом безпеки системи.

Для авторизації та додаткового захисту транзакцій в блокчейн, кожна транзакція додатково захищена цифровим підписом.

Цифровий підпис – це математичний метод, який використовується для автентифікації особи відправника повідомлення або транзакції в DLT. Цифрові підписи базуються на криптографії з відкритим ключем, створюються за допомогою закритого ключа та перевіряються за допомогою відкритого ключа.

Описані вище властивості технології Blockchain та Distributed Ledger Technology дозволяють змінити підхід до побудови інформаційних систем у логістиці та промисловості. У контексті «Індустрії 4.0» блокчейн можна використовувати різними способами, щоб створити нові форми довіри та співпраці між різними сторонами в екосистемі виробництва та ланцюгів постачання.

Так, використовуючи алгоритми дерева Меркла, цифрового підпису, розподіленої програмованої бази даних та валідації транзакцій за допомогою алгоритмів консенсусу, тобто технологій, на яких базується блокчейн та Distributed Ledger Technology, можна створити інформаційні системи для промисловості та ланцюгів постачання, які можуть використовуватися в такий спосіб:

1. Управління ланцюгом поставок. Блокчейн можна використовувати для створення захищеного від несанкціонованого втручання запису кожної транза-

кції, що відбувається в ланцюзі поставок, від сировини до готової продукції. Це може забезпечити більшу прозорість і відстежуваність, зменшити ризик шахрайства та підробок, а також допомогти компаніям швидше виявляти та вирішувати проблеми.

2. Контроль якості та управління гарантіями. Блокчейн можна використовувати для відстеження якості продуктів протягом усього життєвого циклу, а також для автоматичного підтвердження гарантії та обробки претензій на основі попередньо визначених правил смарт-контрактами.

3. Децентралізоване виробництво. Блокчейн можна використовувати для створення децентралізованих виробничих мереж, де різні сторони можуть співпрацювати над проектуванням і виробництвом, використовуючи спільні дані та ресурси, без необхідності центрального органу чи посередника.

**Висновки.** За допомогою впровадження алгоритмів, на яких базується технологія блокчейну, а саме за допомогою використання Дерева Меркла для забезпечення цілісності та безпеки великих обсягів даних, та їх подальшої передачі та зберігання, цифрового підпису для автентифікації транзакцій, з використанням відкритого та закритого ключів, та за допомогою алгоритмів консенсусу у рамках децентралізованого зберігання даних у DLT, удосконалюються процеси автоматизації та ефективності в управлінні даними в інформаційних системах промисловості та ланцюгів постачання шляхом створення нових форм довіри та співпраці в «Індустрії 4.0», надаючи безпечний і прозорий спосіб до зберігання та обміну даними, який зменшує затримки та помилки в інформаційних системах промисловості та ланцюгах постачання.

Результати дослідження управління ланцюгами постачання на основі використання алгоритмів блокчейну корисні при проектуванні інформаційних систем промисловості та систем моніторингу, що дозволить створювати спільні реєстри та бази даних для потоків даних, до яких мають доступ та довіру усі сторони промислового виробництва та логістики, що зменшує помилки, затримки та неправомірні дії з потоками даних в інформаційних системах, та покращує процеси автоматизації та ефективність в управлінні потоками даних в інформаційних системах, для їхньої обробки, моніторингу, аналізу та подальшого зберігання.

#### **ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE**

1. H. Lasi, P. Fettke, H.G. Kemper, T. Feld, M. Hoffmann. Industry 4.0. Business & information systems engineering, 6, pp.239-242, 2014.

2. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
3. Magnus Mathisen, The Application of Blockchain Technology in Norwegian Fish Supply Chains. A Case Study // Norwegian University of Science and Technology, 2018, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2561323>
4. L. Gamio, P. S. Goodman, New York Times. How the Supply Chain Crisis Unfolded. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nytimes.com/interactive/2021/12/05/business/economy/supply-chain.html>
5. H. Matallah, G. Belalem, K. Bouamrane. Comparative study between the MySQL relational database and the MongoDB NoSQL database. International Journal of Software Science and Computational Intelligence (IJSSCI) 13.3 (2021): 38-63.
6. H.S. Oluwatosin, Client-server model. IOSR Journal of Computer Engineering 16.1 (2014): 67-71.
7. M. Nofer, P. Gomber, O. Hinz, D. Schiereck. Blockchain. Business & Information Systems Engineering, 2017, 59, 183-187.

Received 11.05.2023.

Accepted 23.05.2023.

### ***Management of data flows in modern industry using blockchain***

*Recent research and publications. "Industry 4.0" is a concept of the industrial revolution, which is based on the use of modern technologies and digital innovations in production and distribution processes. The introduction of the concept of "Industry 4.0" was designed to improve the competitiveness of European industry and increase productivity and product quality. A blockchain is a distributed data structure that is replicated and distributed among network members.*

*The purpose of the study is to improve automation processes, increase efficiency, reduce delays and errors in information systems of industry and supply chains by using blockchain technologies in the construction of information systems.*

*Main material of the study. The paper makes an analysis of approaches and algorithms to data management in "Industry 4.0" information systems. Blockchain algorithms are compared to classical approach with other databases in the client-server architecture.*

*Conclusions. By implementing algorithms based on blockchain technology, namely by using the Merkle Tree, digital signature technology, and by using consensus algorithms in the framework of decentralized data storage in Distributed Ledger Technology, the processes of automation and efficiency in data flow management are improved,*

*providing a secure and transparent way to store and share data that reduces delays and errors in industry information systems and supply chains.*

**Гнатушенко Вікторія Володимирівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технології.

**Ситник Роман Сергійович** – аспірант кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технології.

**Hnatushenko Viktoriia** – Doctor of engineering's sciences, Professor, Head of Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

**Sytnyk Roman** – Postgraduate Student, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.