

Проектування та дослідження системи моніторингу руху товарів та ресурсів з застосуванням блокчейну

Анотація. Глобалізація, розвиток міжнародної та внутрішньої торгівлі, створення довгих та складніших ланцюгів постачання, збільшення об'ємів продажів товарів тягнуть за собою збільшення вимог та навантаження на інформаційні системи, які займаються управлінням та моніторингом руху товарів, ресурсів та сировини. Тому актуальною є задача дослідження та проектування нових ІТ моделей для ланцюгів постачання, що призначені спростити та зробити прозорішими процеси моніторингу та управління рухом товарів між різними суб'єктами господарювання. У роботі розроблений прототип управління ланцюгами постачання на основі використання технології блокчейну та смарт-контрактів з використанням децентралізованої віртуальної машини Ethereum. Ключові слова: блокчейн, смарт-контракт, ланцюги постачання, проектування, модель, логістика, рух товарів, Ethereum, Blockchain.

Постановка проблеми. Від налагоджених логістичних процесів та ланцюгів постачання залежить швидкість постачання товарів та ресурсів, їхня ціна, безпека та цілісність доставки.

Ці процеси складаються з багатьох дій, передач між постачальниками та різних локацій, і чим їх більше, тим управління рухом товарів та ресурсів стає більш заплутаним та менш прозорим для усіх учасників процесу, в тому числі для кінцевого споживача.

Сучасні цифрові рішення для управління логістикою та ланцюгами постачання мають численні недоліки, які мають вплив на якість, час та ціну постачання. Прикладами таких недоліків є:

- непрозора та складна система взаємодії між різними учасниками ланцюгів постачання, як наслідок – затримки, складнощі у моніторингу рухів та логістиці;
- недостатність або недостовірність інформації о походженні продуктів, складність верифікації походження та оригінальності товарів кінцем споживачем;

- брак автоматизованих процесів у ланцюгах постачання (автоматичне реагування на події та інше);
- складний процес впровадження змін та інновацій у інформаційних системах управління руху товарів та ресурсів.

Ці проблеми є актуальні, і для їх вирішення у сучасному менеджменті руху товарів та ресурсів пропонується використання інформаційних систем на основі роботи блокчейну (Blockchain).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. 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 Сатосі Накамото, щоб розв'язати проблему централізації фінансів навколо банків [1]. У результаті того, як вузли в Bitcoin (так звані майнери) взаємно перевіряють узгоджені транзакції у централізованій базі даних, чим блокчейн Bitcoin встановлює власників і вказує, чим вони володіють (цифрові активи).

В сьогоднішній блокчейни використовують в основному у сфері децентралізованих фінансів (DeFi) у вигляді криптовалют та інструментів до них у вигляді обмінників, бірж, аукціонів тощо. Також існують вузькоспеціалізовані іноземні дослідження на тему використання блокчейну у моніторингу поставок (руху товарів, ресурсів, будь-яких інших об'єктів). Наприклад, дослідження на тему використання блокчейну для моніторингу поставок риби на риболовних підприємствах Норвегії, та моніторинг безпечності харчових продуктів під час постачання у Китаї [2].

Також, на сьогоднішній день, серед вітчизняних науковців майже немає тих, хто займався б вивченням використання технології блокчейну у логістичних інформаційних системах та ланцюгах постачання товарів в Україні.

Тому розробка інформаційної системи та дослідження є актуальним, яке спрямоване на економічну та логістичну доцільність використання блокчейну у ланцюгах постачання інформаційних систем.

Метою дослідження є дослідження технології блокчейну в інформаційних системах для моніторингу руху товарів та ресурсів, що може поліпшити процеси відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання.

Основна частина. Блокчейн працює як розподілена база даних, що зберігає записи в точному порядку, які об'єднуються в блоки, кожен з яких містить часову позначку, хеш попереднього блоку та самі дані кожної

транзакції. Захистом від підробки та спотворення слугує включення хешу всього блоку у наступний блок, а самі транзакції проходять оговорену валідацію для запису у блокчейн. Наприклад, за принципом доказу виконаної роботи, тобто “Proof-of-Work”, в якому валідатори-учасники мережі роблять підбір хешу транзакції. Такий спосіб використовується у мережах Ethereum та Bitcoin [3].

Інформаційні системи для моніторингу руху товарів з використанням технології Blockchain, згідно попередніх досліджень, можуть мати наступні переваги у порівнянні з використанням класичних засобів: точність інформації по всьому ланцюжку в будь-якій час і в будь-якому місці, прозорість інформації та докладна історія щодо усіх передач та дій у ланцюгу постачання, відстеження усіх джерел товарів та ресурсів у поставках будь-яким учасником мережі, механізм скриптів, які автоматизують частину роботи за допомогою смарт-контрактів тощо [4].

Інформаційна система для моніторингу руху товарів в рамках цієї роботи буде базуватися на специфікації блокчейну мережі Ethereum (Етеріум).

Ethereum – це платформа у вигляді єдиної децентралізованої віртуальної машини (EVM) на базі блокчейну, що працює на базі смарт-контрактів. Тобто Ethereum – це блокчейн-мережа з можливістю програмування поведінки транзакцій за допомогою смарт-контрактів [5].

Смарт-контрактом називають програму, яка зберігається та виконується у блокчейні. Він дозволяють реалізувати в коді можливості, які надає блокчейн для даних. Кожному смарт-контракту призначається 20-байтова адреса, яка є його унікальним ідентифікатором. Для написання контрактів у віртуальній машині блокчейн-мережі Ethereum використовують мову програмування Solidity.

Нові записи до блокчейну та робота зі смарт-контрактами здійснюється через створення та підписання транзакцій учасниками мережі блокчейну.

Для цього треба створити транзакцію з необхідними параметрами для мережі Етеріум, такими як “to” (адреса куда пересилаються дані), “gasPrice”, “gasLimit” - різновид “енергії”, тобто комісії у валюті Ether для проведення транзакцій (вона використовується як нагорода для валідаторів, що валідують та додають транзакцію до блокчейну), “nonce” - номер транзакції, що проводиться з цього акаунту, “data” - дані всередині транзакції, “value” - кількість Ether для пересилання.

Після цього транзакція підписується криптографічним приватним ключем акаунту, та посилається до блокчейну на обробку, де виконується код смарт-контракту [6].

Для того, щоб розробити інформаційну систему для ланцюгів постачання, яка буде взаємодіяти з різними суб'єктами, також потребується узгоджена специфікація, згідно якої кожен учасник логістичної мережі буде знати, які властивості та дії є для них доступними, та як правильно звертатися до смарт-контрактів, на якій працює система.

Розглянемо спрощений прототип простої логістичної системи, в якій в системі ланцюга постачання є ряд суб'єктів, які виконують свої ролі – постачальник, виробник та дистриб'ютор.

Так, у прототипі постачальник надає сировину виробнику, виробник за допомогою сировини виготовляє товар, після чого відправляє його до дистриб'ютора, який вже займається реалізацією товарів клієнтам.

Для прикладу була взята задача, де металургійний завод (постачальник) виробляє металеві шестерні, які він реалізує на машинобудівний завод (виробник). Машинобудівний завод потребує металеві шестерні, та за наявності достатньої кількості деталей виготовляє з цього ресурсу машинні механізми. Ці машинні механізми далі передаються дистриб'ютерам.

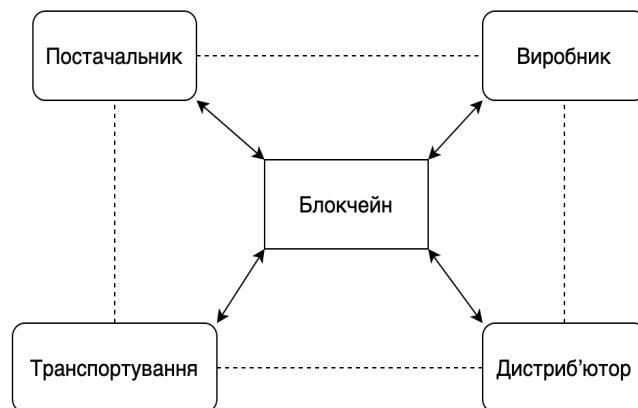


Рисунок 1 - Схема взаємодії учасників ланцюгу постачання з блокчейном

Реалізувати такий ланцюг постачання можна за допомогою смарт-контрактів та запустити цю логіку у блокчейні, де і буде зберігатися вся інформація про виготовлення та рух ресурсів.

Буде створено два смарт-контракти – один для управління виробництвом деталей та механізмів – ProductManagement, інший для керування власниками продуктів ланцюга постачання – ChangeOwnership.

Перший контракт буде мати методи для записів про виробництво деталей та механізмів. Другий – методи для керування правом власності на них (реєстрація ресурсу за виробником, та зміна власника на іншу адресу).

Кожен суб'єкт ланцюгу постачання буде представляти собою Ethereum-акаунт (гаманець) з власною адресою, на який та з якого будуть здійснюватися переміщення товарів. Кожен смарт-контракт також має власну адресу у мережі, на яку проводяться транзакції для виконання коду.

Перш за все мають бути визначені структури, з якими будуть взаємодіяти функції смарт-контрактів. В цих структурах мають бути усі змінні, які присутні у моделях деталей та механізмів. Серед них: адреса володаря всередині мережі, дата виробництва, серійний номер та тип деталі/продукту (manufacturer, serial_number, product_type, creation_date). У продукті також має бути змінна, в якій зберігається масив деталей, які використані для виробництва механізму, щоб можна було прослідкувати історію володіння та виробництва навіть окремих частин продукту. Ці структури мають бути відомими та однаковими для обох смарт-контрактів, які використовуються у системі, тому вони мають бути узгоджені між сторонами заздалегідь, та бажано оформлені у вигляді специфікації для їхнього конкретного ланцюгу постачання.

Сигнатури контракту ProductManagement, який відповідає за реєстрацію товарів, будуть виглядати наступним чином:

- Функція products, приймає productHash – хеш продукту, та повертає за хешем структуру продукту з даними про виробника, серійний номер, тип продукту та дату виробництва (manufacturer, serial_number, product_type, creation_date);
- Функція parts, приймає partHash – хеш деталі, та повертає за хешем структуру деталі з даними про виробника, серійний номер, тип деталі та дату виробництва (manufacturer, serial_number, part_type, creation_date);
- Функція registerPart, приймає структуру деталі (serial_number, part_type, creation_date), та реєструє деталь у блокчейні;
- Функція registerProduct, приймає структуру продукту разом з масивом деталей (serial_number, product_type, creation_date, part_array), та реєструє продукт у блокчейні;
- Функція getParts, приймає хеш продукту, та повертає масив деталей, які містяться у продукті.

За допомогою такого контракту учасники мережі мають можливість реєструвати та отримувати інформацію щодо деталей та продуктів. Контракт ChangeOwnership має наступні сигнатури:

- Функція `currentPartOwner`, приймає хеш деталі, та повертає мережеву адресу власника деталі у блокчейні;
- Функція `currentProductOwner`, приймає хеш продукту, та повертає мережеву адресу власника продукту у блокчейні;
- Конструктор смарт-контракту, що приймає мережеву адресу смарт-контракту `ProductManagement`, який використовується для перевірки існування продуктів та деталей перед зміною їхніх власників;
- Функція `addOwnership`, приймає тип та хеш деталі або продукту, виконує додавання початкового власника до продукту або деталі, якщо власник раніше не був зареєстрований за цим товаром;
- Функція `changeOwnership`, приймає тип та хеш деталі або продукту, виконує зміну власника до продукту або деталі, може виконати тільки поточний власник;
- Функції зворотного виклику (слухачі) `TransferPartOwnership` та `TransferProductOwnership`, що виконуються при зміні власника деталі/продукту, та сповіщають нового власника про цю подію з хешем деталі/продукту;

Таким чином, контракт ChangeOwnership вже має основні функції, які потрібні для моніторингу та фіксації рухів деталей та продуктів.

Схема роботи інформаційної логістичної системи, що працює за цими смарт-контрактами наведено на рисунку 2.

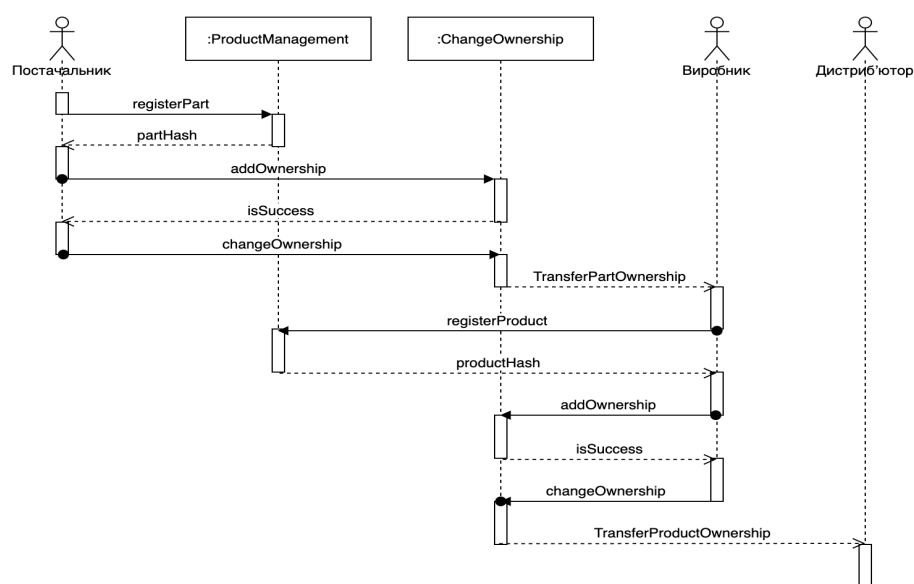


Рисунок 2 - Діаграма послідовності роботи логістичної системи у блокчейні

Висновки. Побудовано прототип інформаційної системи з використанням технології блокчейну та смарт-контрактів. Проведено її аналіз, досліджено властивості розробленої системи. Отримано проміжні результати прототипу системи, що працює на блокчейні віртуальної машини Ethereum за допомогою смарт-контрактів, призначена для управління простим ланцюгом постачання. Зроблено висновок про покращення прозорості процесу відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання. Як приклад, розроблена система ланцюгу постачання деталей та механізмів за участі суб'єктів постачальника, виробника та дистриб'ютора. Дана робота корисна для проектування та створення більш детальних та складніших систем моніторингу та управління рухом товарів та інших видів постачання на основі використання технології Blockchain.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. 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>
3. Robby Houben, Alexander Snyers. Cryptocurrencies and blockchain. // European Parliament Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, 2018, p. 16-19, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/150761/TAX3%20Study%20on%20cryptocurrencies%20and%20blockchain.pdf>
4. EPRS | European Parliamentary Research Service. Blockchain for supply chains and international trade // Scientific Foresight Unit (STOA) PE 641.544 – May 2020, ISBN: 978-92-846-6530-3. p. 42-43 URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU\(2020\)641544_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU(2020)641544_EN.pdf)
5. Buterin, V. Ethereum Whitepaper, 2013, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ethereum.org/en/whitepaper/> (дата звернення: 01.12.2021)
6. Gustavo A. Oliva, Ahmed E. Hassan, Zhen Ming Jiang. An exploratory study of smart contracts in the Ethereum blockchain platform // Empirical Software Engineering (2020) 25:1864–1904, p. 1868-1871. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10664-019-09796-5> (дата звернення: 01.12.2021)

REFERENCE

1. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. 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>
3. Robby Houben, Alexander Snyers. Cryptocurrencies and blockchain. // European Parliament Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, 2018, p. 16-19, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/150761/TAX3%20Study%20on%20cryptocurrencies%20and%20blockchain.pdf>
4. EPRS | European Parliamentary Research Service. Blockchain for supply chains and international trade // Scientific Foresight Unit (STOA) PE 641.544 – May 2020, ISBN: 978-92-846-6530-3. p. 42-43 URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU\(2020\)641544_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU(2020)641544_EN.pdf)
5. Buterin, V. Ethereum Whitepaper, 2013, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ethereum.org/en/whitepaper/> (дата звернення: 01.12.2021)
6. Gustavo A. Oliva, Ahmed E. Hassan, Zhen Ming Jiang. An exploratory study of smart contracts in the Ethereum blockchain platform // Empirical Software Engineering (2020) 25:1864–1904, p. 1868-1871. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10664-019-09796-5> (дата звернення: 01.12.2021)

Received 06.10.2021.

Accepted 14.10.2021.

Проектування та дослідження системи моніторингу руху товарів та ресурсів з застосуванням блокчейну

Дослідження технології блокчейну в інформаційних системах моніторингу руху товарів та ресурсів для поліпшення процесів відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання. Побудовано прототип інформаційної системи з використанням технології блокчейну та смарт-контрактів. Проведено її аналіз, досліджено властивості розробленої системи. Зроблено висновок про покращення прозорості процесу відстеження та автоматизації у ланцюгах постачання.

The Design and Research of a System for Monitoring the Movements of Goods and Resources Using Blockchain

Recent research and publications. A blockchain is a distributed data structure that is replicated and distributed among network members. The first blockchain specification was proposed together with the digital currency Bitcoin in 2008 by a man under the pseudonym

Satoshi Nakamoto to solve the problem of centralizing finances around banks. Today, blockchains are used mainly in the field of decentralized finance (DeFi) in the form of cryptocurrencies and instruments to them. There are also a few specialized foreign studies on the use of blockchain in the monitoring of supplies, but these studies are more focused on the economic and logistical feasibility of using the blockchain in supply chains, without the exact models of information systems on which such a system should work.

The aim of the study. Study of blockchain technology in information systems for monitoring the movement of goods and resources, which can improve the processes of tracking and automation in supply chains.

Main material of the study. The paper develops a prototype of the information system for monitoring the movements of goods in supply chains, which is working above the Ethereum virtual machine. The system is working using two smart-contracts and the paper describes the exact structure and specification of smart-contracts and principles of communication between them for the information system for monitoring the movements of goods.

Conclusions. The article presents a prototype of an information system using blockchain technology and smart contracts which are working on the Ethereum network. Based on prototyping of the information system for monitoring the movements of goods, it was concluded that the transparency of the tracking and automation process in supply chains is improved. This work is useful for designing and creating more detailed and sophisticated systems for monitoring and managing the movement of goods and other supplies based on the use of Blockchain technology.

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

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

Гнатушенко Виктория Владимировна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедры информационных технологий и систем Украинского государственного университета науки и технологий.

Сытник Роман Сергеевич – аспирант кафедры информационных технологий и систем Украинского государственного университета науки и технологий.

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.