

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Економічний факультет

Кафедра економічної кібернетики та прикладної економіки

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ
ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙНУ»**

Виконав: студент 2 курсу групи ЕК-61

спеціальності 051 «Економіка»

освітня програма «Економічна кібернетика»

Шалупенко Данило Миколайович

Керівник: Гур'янова Лідія Семенівна, д.е.н.,
професор

Рецензент:

Харків – 2024

Анотація

Шалупенко Д.М. «Розробка системи управління логістичними процесами на основі технології блокчейну»(керівник: д.е.н., проф. Гур'янова Л.С)

У роботі досліджено можливості впровадження блокчейн-технологій у логістичні процеси. Визначено поняття логістики та блокчейну, проаналізовані сучасні блокчейн-рішення для логістики. На основі логістичних процесів «Нової пошти» спроектована система управління логістичними процесами на основі блокчейну. Визначено вимоги до системи управління логістичними процесами, запропоновано архітектуру системи управління логістичними процесами на основі технології блокчейну. Особливу увагу приділено проектуванню смарт-контрактів для автоматизації логістичних операцій, інтеграції з IoT-пристроями та забезпеченню безпеки даних. Проведений сценарний аналіз роботи системи в різних ситуаціях. Отримані результати дозволили зробити висновок про те, що використання блокчейну дозволяє підвищити якість обслуговування, скоротити витрати та забезпечити конкурентоспроможність послуг та компанії в цілому.

Ключові слова: логістика, управління, автоматизація, система, блокчейн, смарт-контракти, IoT, безпека даних

Abstract

Shalupenko D.M. "**Development of a Logistics Management System Based on Blockchain Technology**" (supervisor: Doctor of Economics, Professor Guryanova L.S.)

This work explores the potential of implementing blockchain technologies in logistics processes. The concepts of logistics and blockchain are defined, and modern blockchain solutions for logistics are analyzed. Based on the logistics processes of "Nova Poshta," a blockchain-based logistics management system is designed. The requirements for the logistics management system are defined, and an architecture for the blockchain-based system is proposed. Particular attention is given to designing smart contracts for automating logistics operations, integrating with IoT devices, and ensuring data security. A scenario analysis of the system's operation in various situations is conducted. The results indicate that the use of blockchain technology improves service quality, reduces costs, and ensures the competitiveness of both services and the company as a whole.

Keywords: logistics, management, automation, system, blockchain, smart contracts, IoT, data security

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛОГІСТИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН	6
1.1. ПОНЯТТЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ	6
1.2. ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН: ПОНЯТТЯ, СТРУКТУРА, ПРИНЦИП РОБОТИ	10
1.3. МОЖЛИВОСТІ БЛОКЧЕЙНУ ДЛЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ	16
1.4. ПОНЯТТЯ ІОТ ТА ЙОГО ІНТЕГРАЦІЯ В БЛОКЧЕЙН	19
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ	22
2.1. СУЧАСНІ РІШЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯ БЛОКЧЕЙНУ В ЛОГІСТИЦІ	22
2.2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЛОКЧЕЙН-РІШЕНЬ В ЛОГІСТИЦІ	24
2.3. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ БЛОКЧЕЙН-РІШЕНЬ ДЛЯ ЛОГІСТИКИ	28
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ	33
3.1. ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ ДЛЯ "НОВОЇ ПОШТИ"	33
3.2. АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ ДЛЯ "НОВОЇ ПОШТИ"	36
3.3. ПРОЕКТУВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ	40
3.4. АЛГОРИТМИ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ СИСТЕМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ В КОМПАНІЇ "НОВА ПОШТА"	44
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	61

ВСТУП

Збільшення масштабів глобалізації, інтенсивний розвиток інформаційних технологій та зростання обсягів торгівлі створюють високі вимоги до сучасних логістичних процесів. Логістика є важливою складовою сучасного бізнесу, оскільки забезпечує ефективне управління потоками товарів і сировини, що є важливим елементом для задоволення потреб ринку, зниження витрат та підвищення конкурентоспроможності компаній. Сучасні логістичні ланцюги характеризуються високою складністю, що вимагає точного обліку та синхронізації великої кількості даних. Проте, традиційні системи управління логістикою часто виявляються малоефективними у питаннях обробки та зберігання інформації, прозорості й безпеки даних, а також захисту від шахрайства та помилок, що негативно впливає на їхню стабільність та ефективність.

Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що одним із сучасних рішень, здатним вирішити проблеми підвищення стійкості та ефективності функціонування логістичних систем, є впровадження технології блокчейн. Блокчейн є децентралізованою технологією розподіленого реєстру, що забезпечує високу прозорість, незмінність даних та надійний облік усіх транзакцій у ланцюгу постачання. Використання блокчейну у логістиці може усунути багато сучасних викликів, зокрема ризику, пов'язані з втратами та фальсифікаціями даних, а також значно підвищити довіру між усіма учасниками логістичного ланцюга. Децентралізований характер блокчейну дозволяє усунути необхідність централізованого управління, забезпечуючи доступність даних для всіх сторін, але з високим рівнем безпеки. Крім того, технологія блокчейн дозволяє інтегрувати автоматизовані рішення, такі як смарт-контракти, що автоматично виконуються при настанні певних умов, що особливо важливо для оптимізації обробки інформації у складних логістичних процесах.

Метою даної кваліфікаційної магістерської роботи є розробка системи управління логістичними процесами на основі технології блокчейн, яка дозволить підвищити якість обслуговування клієнтів компанії, скоротити логістичні витрати та забезпечити підвищення конкурентоспроможності послуг

та компанії в цілому. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих підходів до управління логістичними процесами та виявити ключові проблеми, які виникають у традиційних системах.

2. Дослідити можливості застосування блокчейн-технологій у логістичній сфері, розглянути світовий досвід і оцінити переваги, які можуть бути досягнуті за допомогою цієї технології.

3. Розробити архітектуру системи управління логістикою досліджуваної компанії, що використовує блокчейн, для забезпечення прозорості та підвищення ефективності обміну інформацією.

4. Описати основні компоненти та функціональні можливості запропонованої системи, включаючи використання смарт-контрактів для автоматизації логістичних процесів.

5. Провести сценарний аналіз роботи системи, визначити її вплив на ефективність логістичних процесів, сформулювати висновки щодо доцільності впровадження блокчейн-технології.

Об'єктом дослідження є процеси управління логістикою. Предметом дослідження – методи проектування системи управління логістичними процесами на основі технології блокчейн.

Отримані результати показали, що використання блокчейну дозволяє значно знизити ризики, пов'язані з втратою або фальсифікацією даних, підвищити рівень прозорості та надійності інформаційних потоків, а також оптимізувати процеси обміну інформацією в логістичних системах. Інтеграція блокчейн-технологій у логістику сприяє не лише підвищенню продуктивності, але й довірі між учасниками логістичного ланцюга. Таким чином, результати даної роботи мають практичне значення для логістичних компаній та інших організацій, які прагнуть вдосконалити управління своїми логістичними процесами на підставі впровадження блокчейн-технологій. Результати дослідження пройшли апробацію на науково-практичній конференції, форумі молодих економістів-кібернетиків, м. Львів, 22-23 листопада 2024 р.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛОГІСТИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН

1.1. ПОНЯТТЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Логістика – це багатогранна галузь, що охоплює управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками у процесі виробництва та реалізації товарів і послуг (Bowersox, , Closs, & Cooper, 2013). Логістичні процеси можна визначити як сукупність заходів, спрямованих на планування, реалізацію і контроль ефективного переміщення товарів і послуг від місця походження до споживача. Вони включають в себе всі етапи, починаючи з постачання сировини до завершення доставки кінцевого продукту (Rushton, Croucher, & Baker, 2022).

Згідно з даними Світової організації торгівлі (СОТ), логістика становить приблизно 10-15% обсягу витрат у світовій економіці. Це свідчить про те, що ефективне управління логістичними процесами може суттєво вплинути на конкурентоспроможність компанії.

Логістичні процеси спрямовані на досягнення цілей компанії, зокрема на підвищення ефективності, зниження витрат та поліпшення обслуговування клієнтів. Визначальними рисами логістичних процесів є їхня інтегрованість і системність, що дозволяє створювати оптимальні ланцюги постачання. У свою чергу, ефективні логістичні процеси можуть позитивно вплинути на задоволеність споживачів, що є критично важливим фактором у сучасному бізнес-середовищі (Ballou, 2004).

Основні елементи логістичних процесів включають: (Grant, Trautrim, & Wong, 2017)

1. Планування: Визначення стратегій для оптимізації всіх етапів логістичного ланцюга, починаючи з постачання сировини до доставки готової продукції. Планування включає в себе розробку розкладів, вибір постачальників, визначення обсягів замовлень тощо. Наприклад, компанії можуть

використовувати програмне забезпечення для прогнозування попиту, щоб налаштувати виробництво відповідно до сезонних коливань.

2. Організація: Систематизація всіх логістичних функцій, включаючи управління запасами, транспортування, складування та обробку замовлень. Цей етап включає в себе розподіл ролей та відповідальностей в команді, визначення ключових процесів та оптимізацію ресурсів. Наприклад, добре організовані склади використовують автоматизовані системи для відстеження запасів та швидкої обробки замовлень.

3. Контроль: Відстеження виконання логістичних процесів, моніторинг витрат та ефективності. Контроль включає в себе збір і аналіз даних, щоб забезпечити виконання планів та досягнення поставлених цілей. Компанії можуть впроваджувати КРІ (ключові показники ефективності) для вимірювання продуктивності логістичних процесів, що дозволяє швидко реагувати на проблеми.

4. Координація: Забезпечення взаємодії між усіма учасниками логістичного ланцюга, включаючи постачальників, виробників, розподільників і споживачів. Координація є критично важливою для уникнення затримок і непорозумінь. Наприклад, впровадження електронних систем обміну даними (EDI) може покращити комунікацію між партнерами.

Логістичні ланцюги постачання (SupplyChainManagement, SCM) – це інтеграція всіх етапів, що беруть участь у створенні та постачанні продукту, включаючи постачальників, виробництво, дистрибуцію, роздрібну торгівлю та споживачів. Основні компоненти логістичного ланцюга включають: (Chopra, & Meindl, 2019).

- **Постачальники:** Організації, які надають сировину та матеріали для виробництва. Наприклад, у автомобільній промисловості постачальники можуть забезпечувати компоненти, необхідні для складання автомобіля.

- **Виробники:** Компанії, які перетворюють сировину на готову продукцію. Це можуть бути як великі фабрики, так і невеликі підприємства, що спеціалізуються на конкретних товарах.

- Дистриб'ютори: Учасники, які займаються доставкою продукції до роздрібних торговців або безпосередньо до споживачів. Вони часто відповідають за управління запасами на складах і виконання замовлень.

- Роздрібні торговці: Магазины та інші канали збуту, які реалізують продукцію кінцевим споживачам. Сучасні технології дозволяють роздрібним торговцям здійснювати прямі онлайн-продажі, що розширює їх ринок збуту.

- Споживачі: Клієнти, які купують та використовують продукцію. Зміни у споживчих вподобаннях можуть впливати на всі етапи логістичного ланцюга.

Ефективне управління логістичним ланцюгом дозволяє знизити витрати, підвищити швидкість доставки та поліпшити якість обслуговування клієнтів. Важливими аспектами є використання новітніх технологій, таких як автоматизація та аналіз даних, що дозволяє оптимізувати всі етапи ланцюга.

Основні функції логістики включають (Bowersox, , Closs, & Cooper, 2013):

1. Управління запасами: Оптимізація рівнів запасів, щоб забезпечити достатню кількість товарів для задоволення попиту при мінімізації витрат на зберігання.

2. Транспортування: Організація доставки товарів між різними етапами ланцюга постачання, включаючи вибір оптимальних маршрутів і засобів транспорту. Наприклад, комбіноване використання залізничного та автомобільного транспорту може знизити витрати на доставку.

3. Складування: Організація процесів зберігання товарів, включаючи вибір складів, управління простором та обробку замовлень. Сучасні склади використовують автоматизовані рішення, які дозволяють зменшити час обробки замовлень і покращити точність.

4. Обробка замовлень: Управління процесом приймання, обробки та виконання замовлень від клієнтів. Використання електронних систем управління замовленнями (OMS) може значно покращити швидкість і точність виконання замовлень.

5. Зворотна логістика: Процеси, пов'язані з поверненням товарів від споживачів до постачальників або виробників. Вона є важливою складовою сучасної логістики, оскільки споживачі все частіше очікують можливості повернення товарів без ускладнень.

Сучасна логістика активно розвивається і адаптується до нових умов. Основні тенденції включають: (Hodoskina, Samsonova, Kirpicheva, et al., 2020)

- Автоматизація та цифровізація: Використання технологій для автоматизації процесів, включаючи впровадження програмного забезпечення для управління логістикою (TMS, WMS) та інтеграцію систем управління на базі IoT. Згідно з даними MarketsandMarkets, ринок рішень для автоматизації логістики виросте понад 75 мільярдів доларів до 2025 року.

- Зелена логістика: Орієнтація на екологічно чисті практики, такі як зменшення викидів CO₂, оптимізація транспортування та використання екологічних упаковок. Багато компаній починають впроваджувати стратегії сталого розвитку, що також позитивно впливає на їх імідж.

- Глобалізація: Розширення логістичних ланцюгів на міжнародному рівні, що потребує врахування митних норм, валютних ризиків та культурних відмінностей. Це створює нові можливості, але й виклики для управління логістичними процесами.

- Сервісно-орієнтований підхід: Підвищення значення обслуговування клієнтів, що включає в себе персоналізацію послуг, швидкість доставки та якість обслуговування. Успішні компанії активно використовують дані про споживачів для налаштування своїх логістичних процесів.

- Використання великих даних (BigData): Збір та аналіз великих обсягів даних для покращення прийняття рішень у сфері логістики. Ця тенденція дозволяє компаніям прогнозувати попит, оптимізувати запаси та швидше реагувати на зміни в ринку.

1.2. ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН: ПОНЯТТЯ, СТРУКТУРА, ПРИНЦИП РОБОТИ

Блокчейн – це інноваційна технологія, що представляє собою розподілену базу даних або реєстр, який забезпечує прозоре, захищене та незмінне зберігання інформації. Інформація в блокчейні представлена послідовністю блоків, що містять записи про транзакції, які підтверджуються й додаються до загального реєстру учасниками мережі. На відміну від традиційних централізованих баз даних, де дані зберігаються в єдиному центрі, блокчейн-технологія використовує децентралізовану мережу вузлів, що дозволяє створювати систему без єдиного контролюючого органу.

Ключова ідея блокчейн-технології полягає у створенні платформи для транзакцій, що не потребує посередників, таких як банки або платіжні системи. Кожна транзакція підтверджується учасниками мережі, що робить її публічною та доступною для перегляду всіма учасниками. Завдяки використанню криптографії, дані в блокчейні є захищеними від несанкціонованого доступу та змін. Важливою особливістю блокчейну є те, що дані, додані до нього, не можуть бути змінені або видалені, що створює високий рівень довіри між учасниками транзакцій (Nakamoto, 2008).

Перше широке застосування блокчейн-технології відбулося у 2009 році з появою біткоїна. Це цифрова валюта, яка використовує блокчейн для реєстрації й підтвердження транзакцій. Завдяки цьому, блокчейн швидко привернув увагу не лише у фінансовій сфері, але й у багатьох інших галузях, таких як логістика, охорона здоров'я, освіта, юриспруденція та інші. Блокчейн, зокрема, відзначається можливістю забезпечення прозорості та відкритості даних, що є критично важливим для сучасного цифрового суспільства, де вимоги до конфіденційності та захисту інформації постійно зростають (Tapscott & Tapscott, 2016).

Блокчейн складається з ряду елементів, що забезпечують його функціонування (Iqbal & Matulevičius, 2021) (рис. 1):

1. Блоки: Блок є базовою одиницею, в якій зберігається інформація. Кожен блок містить заголовок (header) та тіло (body). У заголовку блоку містяться метадані, зокрема час створення, хеш попереднього блоку та унікальний хеш поточного блоку. Це забезпечує можливість зв'язування блоків у єдиний ланцюг. Тіло блоку містить дані про транзакції, що були здійснені в рамках цього блоку. Хешування дозволяє створити унікальний ідентифікатор для кожного блоку, що запобігає фальсифікації.

2. Ланцюг: Блоки у блокчейні з'єднані в ланцюг. Кожен блок має хеш попереднього блоку, що формує послідовність, у якій зберігаються дані. Це гарантує, що інформацію в попередніх блоках не можна змінити без змін у всіх наступних, що практично унеможливлює шахрайство або маніпуляцію даними. Завдяки цій структурі блокчейн створює незмінний запис усіх транзакцій.

3. Мережа: Блокчейн функціонує в рамках децентралізованої мережі комп'ютерів, що мають назву вузли. Кожен вузол зберігає повну копію блокчейну і бере участь у процесах підтвердження транзакцій. Це децентралізоване зберігання підвищує безпеку, оскільки для зміни інформації в блокчейні потрібно отримати доступ до більшості вузлів мережі. Децентралізованість робить блокчейн стійким до атак, адже немає єдиного уразливого центра, який можна зламати.

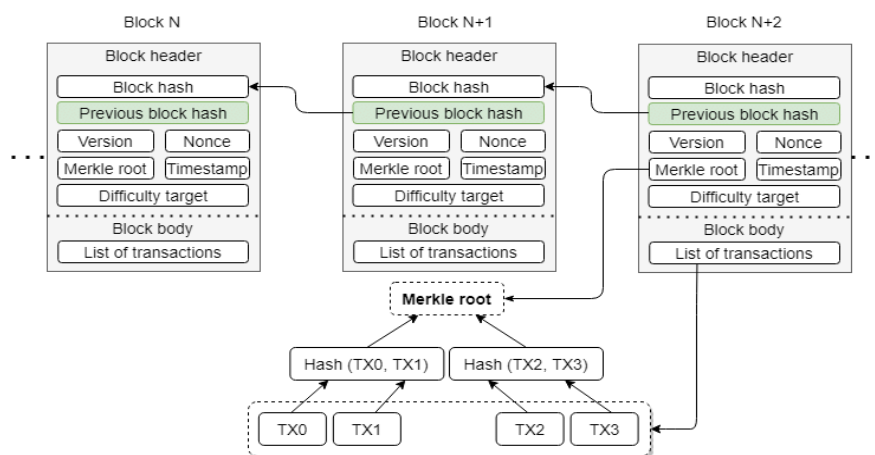


Рис 1. Структура блокчейну

Принцип роботи блокчейну полягає в обробці та підтвердженні транзакцій у межах децентралізованої мережі. Кожна нова транзакція повинна бути підтверджена більшістю вузлів у мережі, перш ніж вона може бути додана до блокчейну. Механізми підтвердження, або механізми консенсусу, забезпечують захист від шахрайства та гарантують надійність системи.

Процес функціонування блокчейну складається з таких етапів (Pilkington, 2016):

1. Створення транзакції: Користувач надсилає запит на виконання транзакції, наприклад, переказ коштів або запис певної інформації в блокчейн. Транзакція відправляється в мережу, де вона очікує підтвердження.

2. Підтвердження транзакції: Для того щоб транзакція стала частиною блокчейну, вона має бути підтверджена іншими вузлами. Для цього використовуються різні механізми консенсусу, такі як ProofofWork (доказ роботи) або ProofofStake (доказ частки). У разі ProofofWork учасники мережі повинні виконати певні обчислення, щоб підтвердити транзакцію.

3. Створення нового блоку: Після підтвердження транзакції вона групується з іншими підтвердженими транзакціями в новий блок, який додається до ланцюга. Усі вузли в мережі отримують оновлення та зберігають копію нового блоку.

4. Збереження даних: Після додавання нового блоку вся мережа має оновлену копію блокчейну, що гарантує прозорість і довіру до системи. Децентралізована структура блокчейну забезпечує захист від несанкціонованого доступу та модифікації.

Блокчейн володіє рядом унікальних характеристик, які роблять його привабливим для багатьох галузей (Mougaуar, 2016):

1. Незмінність: Після додавання інформації до блокчейну вона не може бути змінена або видалена. Це означає, що дані зберігаються у своїй первісній формі, що сприяє прозорості й захисту від фальсифікацій.

2. Прозорість: Завдяки децентралізованій структурі всі учасники мають доступ до записів у блокчейні. Це підвищує рівень довіри до системи, адже кожен може перевірити дійсність даних.

3. Безпека: Використання криптографічних методів і механізмів консенсусу робить блокчейн надзвичайно безпечним. Для зміни даних у блокчейні зловмисник має отримати контроль над більшістю вузлів, що в більшості випадків практично неможливо (Kshetri, 2018).

4. Децентралізованість: Блокчейн не має єдиного центрального вузла, а дані зберігаються на всіх учасниках мережі. Це знижує ризик збоїв та зловживань з боку одного органу.

Технологія блокчейн пропонує низку переваг, що роблять її привабливою для бізнесу та інших сфер діяльності:

1. Зниження витрат: Блокчейн дозволяє здійснювати транзакції без участі посередників, що знижує витрати. Наприклад, у банківській сфері це може зменшити комісії за перекази.

2. Прозорість та підзвітність: Завдяки доступності даних для всіх учасників, блокчейн робить транзакції прозорими й підзвітними, що знижує ризики шахрайства.

3. Простота інтеграції та використання: Блокчейн-системи мають модульну структуру, що полегшує інтеграцію з іншими технологіями й системами, забезпечуючи гнучкість та адаптивність.

Смарт-контракти є однією з ключових інновацій у сфері блокчейн-технологій, що значно розширюють її можливості для застосування в різних галузях, включаючи логістику, фінанси та юриспруденцію. В основі смарт-контрактів лежить принцип автоматизації та децентралізації. Це програмні алгоритми, які забезпечують автоматичне виконання угод, якщо дотримані всі попередньо встановлені умови. Таким чином, смарт-контракти зменшують потребу у посередниках, прискорюють транзакції та знижують витрати, пов'язані з ними.

Смарт-контракти складаються з коду, що містить набір умов, які повинні бути виконані для того, щоб транзакція відбулася. Умови можуть охоплювати певні дії, такі як перевірка наявності коштів, отримання підтверджень або виконання проміжних етапів. Наприклад, у логістичному процесі смарт-контракт може ініціювати оплату за доставку після підтвердження отримання товару на складі. Всі операції є незворотними й зафіксовані в блокчейні, що забезпечує прозорість і надійність процесу (Buterin, 2014).

Після запуску смарт-контракту в блокчейні його код і всі умови стають незмінними. Усі операції є автоматичними: якщо умови виконані, система самостійно запускає необхідні транзакції. Завдяки цьому смарт-контракти зменшують потребу у людському втручанні, яке може бути джерелом помилок, затримок та витрат. До переваг слід віднести:

1. Автоматизація. Смарт-контракти автоматизують угоди та скорочують час на обробку. Це особливо важливо у великих компаніях, де процеси можуть бути складними та тривалими. Автоматизація також дозволяє значно зменшити кількість помилок, пов'язаних з людським фактором.

2. Швидкість та ефективність. Транзакції у блокчейні відбуваються майже миттєво, після того як виконуються умови, зазначені у смарт-контракті. Для компаній, які займаються швидкопсувною продукцією, або тих, що працюють у режимі реального часу, це дозволяє значно прискорити процеси постачання.

3. Прозорість та надійність. Смарт-контракти зберігаються у блокчейні, що дозволяє учасникам угоди переглядати всі умови та транзакції в будь-який час. Це гарантує дотримання вимог і забезпечує високий рівень прозорості для всіх сторін. Завдяки блокчейн-технології неможливо ввести зміни у смарт-контракт після його розгортання, що мінімізує ризики шахрайства.

4. Незмінність та захист від маніпуляцій. Оскільки смарт-контракти працюють у децентралізованій мережі блокчейну, їх не можна змінити після створення. Це робить їх незмінними та незламними, що дозволяє сторонам не

хвилюватися про можливі зміни в умовах. Усі домовленості зберігаються в їх первісному вигляді, що підвищує довіру.

5. Зниження витрат на посередників. Смарт-контракти дозволяють виключити посередників, таких як банки чи нотаріуси, з процесу укладення угод. Це не лише скорочує витрати, але й зменшує час, який зазвичай витрачається на узгодження умов та перевірку даних.

Смарт-контракти мають великий потенціал для використання в логістичних процесах. Вони можуть автоматизувати різні аспекти ланцюгів постачання, зокрема:

- Контроль постачання та відстеження товарів: Смарт-контракти дозволяють автоматично відстежувати статус товару на кожному етапі транспортування. Наприклад, контракт може автоматично ініціювати оплату за доставку після підтвердження отримання товару кінцевим споживачем.

- Управління складськими запасами: Смарт-контракти можуть автоматично формувати замовлення на поповнення складів у разі досягнення певного мінімального рівня запасів. Це забезпечує безперебійність постачання, скорочуючи ризик нестачі товарів.

- Обробка претензій: Якщо під час перевезення товару виникли проблеми, смарт-контракт може автоматично ініціювати процес розгляду претензій та повернення коштів.

Хоча смарт-контракти мають багато переваг, існують також певні обмеження:

1. Юридична невизначеність. У багатьох країнах відсутня чітка правова база для використання смарт-контрактів, що створює труднощі для їх легітимності. Це обмежує можливості їх використання у комерційних угодах, які потребують юридичного підтвердження.

2. Складність розробки та помилки у коді. Смарт-контракти потребують ретельного програмування, оскільки помилки в коді можуть призвести до небажаних наслідків, таких як втрата коштів або блокування

процесів. Усунення помилок у смарт-контрактах є складним процесом, оскільки блокчейн не дозволяє редагувати код після його запуску.

3. Обмежена інтеграція з фізичними процесами. Смарт-контракти добре працюють із цифровими даними, однак інтеграція з фізичними процесами потребує додаткових технологій, таких як IoT. Наприклад, для автоматизації відстеження вантажу необхідно встановити датчики, що можуть підвищити вартість впровадження.

Блокчейн-технологія знаходить застосування у багатьох галузях (Saberі, Kouhizadeh, Sarkis, & Shen, 2019):

1. Фінанси: Використання блокчейну у фінансових операціях забезпечує швидкі, безпечні та дешеві транзакції.
2. Логістика: Блокчейн забезпечує прозорість і відстеження вантажів на всіх етапах ланцюга постачання.
3. Охорона здоров'я: У медичній сфері блокчейн дозволяє безпечно зберігати медичні записи пацієнтів.
4. Голосування: Забезпечує прозорість та безпеку виборчих процесів.
5. Мистецтво: Використання NFT для збереження прав на цифрові твори.

1.3. МОЖЛИВОСТІ БЛОКЧЕЙНУ ДЛЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Логістика, як критичний компонент будь-якої галузі, зіштовхується з численними викликами, що впливають на ефективність, прозорість і безпеку постачання товарів. Однією з основних проблем є складність координації між різними учасниками ланцюга постачання, такими як виробники, постачальники, перевізники, склади та роздрібні продавці (Suryalakshmi, Elayaraja, & Vijai, 2021). Відсутність інтегрованих систем обміну даними часто призводить до втрати або спотворення інформації, що ускладнює управління логістичними потоками.

Ще однією проблемою є непрозорість операцій у логістиці. Через недостатність прозорих механізмів відстеження та обліку товарів і вантажів

можуть виникати випадки шахрайства та підробки, особливо у сфері доставки високовартісних товарів, медикаментів чи продуктів харчування. Проблема втрачених або пошкоджених вантажів також залишається актуальною, оскільки недостатня кількість інформації та неналежний контроль можуть призводити до збоїв у постачанні.

Виклики сучасної логістики також включають високу вартість операцій та управління. Велика кількість адміністративної роботи для обробки документів, митних декларацій, угод і контрактів призводить до затримок та зростання витрат. Логістичні процеси часто залежать від безлічі посередників, що збільшує загальний час і вартість поставок.

Блокчейн-технологія має потенціал значно оптимізувати та змінити логістичні процеси. Основна ідея використання блокчейну полягає у створенні прозорої, незмінної платформи для зберігання та передачі даних. Завдяки децентралізованій структурі блокчейн дозволяє зберігати інформацію про всі етапи постачання та забезпечує прозорість для всіх учасників ланцюга.

Блокчейн також усуває потребу в багатьох посередниках, завдяки використанню смарт-контрактів. Смарт-контракти дозволяють автоматизувати певні операції в логістиці, наприклад, оплату або передачу товару, що відбувається автоматично після виконання визначених умов. Це зменшує витрати на посередників та адміністративне управління.

Блокчейн також забезпечує незмінність і надійність даних. Після того як інформація записується в блокчейн, її не можна змінити або видалити, що значно знижує ризик шахрайства. Наприклад, інформація про походження та транспортування товару може бути записана та відстежена в реальному часі, що знижує ризик підробки товарів.

Переваги використання блокчейну для логістики

1. Прозорість і відстежуваність: Блокчейн дозволяє створювати єдину прозору платформу, на якій можна відстежувати переміщення товарів від виробника до кінцевого споживача. Це особливо важливо для галузей, де

контроль якості й автентичність продукції мають вирішальне значення, наприклад, у фармацевтиці та харчовій промисловості.

2. Зниження витрат: Завдяки автоматизації процесів за допомогою смарт-контрактів, логістичні компанії можуть значно знизити витрати на адміністративне управління та зменшити кількість посередників. Смарт-контракти можуть автоматично виконувати угоди між учасниками ланцюга постачання, що спрощує процеси та зменшує витрати.

3. Покращена ефективність: Блокчейн допомагає усунути затримки, пов'язані з обробкою документів, перевіркою інформації та платежами. Завдяки автоматизації процесів та спрощенню обміну даними, ланцюг постачання стає більш ефективним і швидким.

4. Забезпечення безпеки даних: Використання криптографії та децентралізованої структури робить блокчейн надзвичайно безпечним для зберігання даних. Інформація не може бути змінена без схвалення більшості учасників мережі, що запобігає шахрайству.

В логістиці вже існує декілька кейсів використання блокчейну:

1. Maersk і IBM (TradeLens): одним із найвідоміших прикладів застосування блокчейну в логістиці є проект TradeLens, розроблений у співпраці компаній Maersk і IBM. Ця платформа дозволяє компаніям відстежувати вантажі в реальному часі та забезпечує прозорість і незмінність даних. Завдяки використанню блокчейну, TradeLens усуває потребу в посередниках і знижує вартість логістичних процесів (IMB, 2024).

2. Walmart: компанія Walmart використовує блокчейн для відстеження харчових продуктів у своєму ланцюзі постачання. Використовуючи блокчейн, Walmart може швидко й ефективно відстежувати шлях продуктів від фермера до полиць магазинів. Це допомагає контролювати якість продуктів і знижує ризик продажу підроблених товарів або неякісних продуктів (Mearian, 2018).

3. DHL (DHL, 2018). Логістична компанія DHL розробляє рішення на основі блокчейну для відстеження медичних товарів. Використання блокчейну

дозволяє створити прозору систему відстеження, що сприяє зменшенню ризику підробки ліків, а також покращує процеси доставки

4. FedEx: FedEx досліджує можливості використання блокчейну для створення незмінного запису всіх своїх поставок. Це дозволяє компанії забезпечити високий рівень прозорості й автоматизувати процес обробки суперечок та повернень.

Незважаючи на потенційні переваги блокчейну, його впровадження в логістиці стикається з рядом викликів (Samani & Alwazna, 2019). Один з основних викликів - це масштабованість технології. На сьогоднішній день блокчейн обробляє обмежену кількість транзакцій на секунду, що може не відповідати потребам великих логістичних компаній зі значним обсягом операцій.

Іншим викликом є складність інтеграції блокчейну з існуючими системами управління логістикою. Для багатьох компаній перехід на блокчейн може вимагати значних витрат на впровадження нових технологій та навчання співробітників. Крім того, через відсутність стандартів для блокчейну у логістиці виникає проблема сумісності різних блокчейн-платформ між собою.

Ще один важливий аспект - це правові та регуляторні питання. У багатьох країнах немає чітких правових норм для використання блокчейну, що може створити додаткові труднощі для компаній, які хочуть впроваджувати цю технологію. Регулювання в галузі безпеки та захисту даних також є важливим чинником, оскільки блокчейн працює з конфіденційною інформацією про постачання та транзакції (McKinlay, Pithouse, Sanders, & McGonagle, 2017).

1.4. ПОНЯТТЯ ІОТ ТА ЙОГО ІНТЕГРАЦІЯ В БЛОКЧЕЙН

Інтернет речей (ІоТ) – це концепція мережі фізичних об'єктів, що оснащені датчиками, програмним забезпеченням та іншими технологіями для обміну даними через інтернет. ІоТ охоплює широкий спектр пристроїв: від побутових речей, таких як розумні холодильники та лампи, до промислових сенсорів,

встановлених на виробничих лініях та в логістичних мережах. Використання IoT дозволяє автоматизувати збір даних та забезпечувати їхню точність у реальному часі, що відкриває нові можливості для управління бізнес-процесами, включаючи логістику (Reyna, Martín, Chen, et al., 2018).

IoT-система складається з декількох основних компонентів (Christidis & Devetsikiotis, 2016):

1. Пристрої та датчики- фізичні пристрої, що збирають дані (наприклад, температуру, вологість, місцезнаходження, стан об'єкта тощо).
2. Комунікаційні технології- методи передачі даних, такі як Wi-Fi, Bluetooth, 5G та інші, що забезпечують зв'язок між пристроями.
3. Платформа управління даними- сервер або хмарна платформа, де збираються, обробляються та аналізуються дані.
4. Аналітичні інструменти- засоби для обробки та аналізу даних з метою надання корисної інформації для прийняття рішень.

Блокчейн є відмінним засобом для забезпечення безпеки та надійності даних IoT, оскільки він забезпечує (Golosova & Romanovs, 2018):

- Прозорість і надійність даних. Всі дані, що збираються з IoT-пристроїв, можуть бути записані в блокчейн, забезпечуючи незмінність і прозорість даних для всіх учасників процесу.
- Децентралізацію. Блокчейн дозволяє зберігати дані IoT децентралізовано, знижуючи ризик втрати або компрометації даних через централізовані сервери.
- Автоматизацію. Інтеграція IoT з блокчейном дозволяє автоматизувати процеси за допомогою смарт-контрактів, які виконуються, коли IoT-пристрій надає необхідні дані (наприклад, автоматичну оплату за перевезення при досягненні товаром місця призначення).

Переваги інтеграції IoT з блокчейном у логістиці (Khan & Salah, 2017):

1. Підвищення точності даних та запобігання шахрайству. Блокчейн забезпечує захист даних від підробки, оскільки кожна зміна фіксується в блоках

і може бути перевірена. У логістиці це дозволяє уникнути шахрайства, пов'язаного з маніпуляціями з інформацією про поставки чи стан товарів.

2. Автоматичний контроль стану вантажів. За допомогою IoT-датчиків можна контролювати температуру, вологість, ударостійкість і багато інших параметрів товару. Це особливо важливо для перевезення температурно-чутливих або крихких товарів. Якщо дані IoT-пристроїв інтегровані з блокчейном, вони можуть автоматично запускати смарт-контракти для попереджень, виплат компенсацій або інших дій.

3. Покращення управління ланцюгами постачання. Інтеграція IoT з блокчейном дозволяє оптимізувати логістичні процеси, надаючи можливість відстежувати кожен етап доставки товару. Це забезпечує кращу видимість ланцюга постачання та дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення щодо управління запасами, маршрутизації та попиту.

4. Скорочення операційних витрат. Завдяки автоматизації процесів за допомогою IoT та блокчейну зменшується потреба у фізичних перевірках, паперових документах та посередниках, що суттєво скорочує операційні витрати.

Приклади застосування IoT та блокчейну в логістиці:

- Моніторинг температури у холодних ланцюгах: IoT-датчики відстежують температуру всередині контейнерів з чутливими до температури продуктами (наприклад, ліками чи харчовими продуктами). Дані автоматично записуються у блокчейн, що дозволяє уникати порушень температурного режиму та контролювати якість товару.
- Відстеження місцезнаходження вантажів: GPS-модулі у поєднанні з блокчейном дозволяють відстежувати місце знаходження вантажу в реальному часі, що підвищує прозорість ланцюга постачання та мінімізує ризик втрат чи крадіжок.
- Контроль доступу до вантажу: IoT-пристрої можуть фіксувати інформацію про те, хто відкривав контейнер чи склад, і зберігати ці дані в блокчейні, що підвищує безпеку логістичних операцій.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ

2.1. СУЧАСНІ РІШЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯ БЛОКЧЕЙНУ В ЛОГІСТИЦІ

Розвиток логістичних процесів стикається з численними викликами, пов'язаними з відстеженням руху товарів, контролем якості, прозорістю даних та скороченням витрат. У відповідь на ці потреби блокчейн-технологія стала перспективним інструментом, що дозволяє спростити та вдосконалити управління логістикою. Прозорість і незмінність даних, які пропонує блокчейн, роблять його ідеальним рішенням для зниження ризиків та оптимізації ланцюгів постачання.

Блокчейн у логістиці широко застосовується для відстеження товарів, автоматизації фінансових розрахунків, запобігання шахрайству та скорочення часу на обробку документів (Korpela, Hallikas, & Dahlberg, 2017). Провідні компанії вже почали інтеграцію блокчейну в свої логістичні системи, що дає змогу краще реагувати на сучасні виклики галузі. Далі наведено детальний огляд найбільш популярних блокчейн-рішень у логістиці

У логістиці використовується безліч блокчейн-платформ, створених спеціально для відстеження товарів, оптимізації постачань та забезпечення прозорості для всіх учасників процесу. Кожне рішення має свої унікальні характеристики, орієнтуючись на певні аспекти логістики, такі як безпека даних, інтеграція IoT, контроль якості, оптимізація витрат та інші. Важливою тенденцією є інтеграція блокчейну з іншими технологіями, як-от IoT та штучний інтелект (AI), що забезпечує повноцінний контроль у реальному часі (European Union Blockchain Observatory, 2021).

Серед ключових гравців на ринку логістики, які активно застосовують блокчейн, варто виділити IBM, Maersk, VeChain, Oracle, SAP та інші компанії, що впроваджують інноваційні підходи для забезпечення ефективного управління логістичними процесами.

Приклади використання блокчейну в логістиці різних галузей:

1. TradeLens (IBM та Maersk) - це глобальна блокчейн-платформа для управління морськими перевезеннями, розроблена IBM та Maersk. Вона дозволяє всім учасникам процесу доступ до єдиної бази даних, де можна в реальному часі відстежувати місцезнаходження вантажів. TradeLens інтегрує смарт-контракти для автоматизації обміну документами, що значно знижує ризик людських помилок та скорочує витрати на адміністрування. Платформа вже охоплює понад 100 портів по всьому світу, що робить її однією з найбільших систем для морських перевезень.

2. VeChainThor- це блокчейн-платформа, що забезпечує інтеграцію IoT для моніторингу умов транспортування, таких як температура, вологість, тиск та інші фактори, які можуть впливати на якість товару. В логістиці харчових продуктів та фармацевтичній галузі (Barley, 2018), де необхідно контролювати умови зберігання на всіх етапах транспортування, VeChainThor виявляється особливо корисним. Датчики IoT збирають інформацію про умови зберігання в реальному часі та передають її до блокчейн-мережі, де дані стають доступними для всіх учасників ланцюга постачання (Radocchia, 2017).

3. OriginTrail- децентралізована платформа, орієнтована на прозорість і ефективність управління даними в ланцюгах постачання. Вона забезпечує надійний обмін інформацією між постачальниками, виробниками, дистриб'юторами та кінцевими споживачами. Особливо корисною є в галузях з високими вимогами до автентичності та походження продуктів, таких як харчова промисловість. OriginTrail дозволяє зберігати детальну інформацію про продукти, включаючи дані про походження, сертифікацію та умови зберігання.

4. BlockVerify- блокчейн-платформа, що фокусується на запобіганні підробкам і шахрайству. Вона активно використовується у фармацевтичній, електронній та ювелірній галузях, де необхідно гарантувати автентичність товарів. Система дозволяє швидко перевіряти справжність продукту на всіх етапах ланцюга постачання, від виробника до кінцевого споживача, що значно знижує ризики шахрайства та покращує довіру до бренду.

5. Modum пропонує рішення для відстеження умов транспортування вантажів, що чутливі до температури. За допомогою IoT-датчиків, які передають інформацію через блокчейн, можна контролювати температуру вантажу під час перевезення, що є надзвичайно важливим для фармацевтичної індустрії (Singh, Dwivedi, & Srivastava, 2020). Застосування Modum дозволяє уникнути збитків, пов'язаних із порушенням умов зберігання товарів, а також забезпечує прозорість для всіх учасників логістичного процесу.

Популярність блокчейн-рішень у логістиці постійно зростає, що пояснюється їх здатністю автоматизувати складні процеси і мінімізувати людські помилки. Аналітичні компанії передбачають, що ринок блокчейну для логістики продовжить зростати з урахуванням постійного вдосконалення технологій і збільшення кількості успішних кейсів.

Основні напрямки розвитку блокчейн-рішень включають (Adhikari & Ramkumar, 2023):

- Інтеграція з IoT і AI: синергія блокчейну, IoT і штучного інтелекту дозволить здійснювати ще більш точний моніторинг і автоматизацію (Dai, Zheng, & Zhang, 2019).
- Покращення стандартів безпеки: впровадження блокчейну для безпечного зберігання даних зменшить ризики кібератак, які все частіше стають проблемою в сучасній логістиці.
- Скорочення часу на адміністративні процеси: автоматизація обміну документами, підтвердження транзакцій та оплати дозволяє значно скоротити час на обробку логістичних операцій, підвищуючи їх ефективність.

2.2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЛОКЧЕЙН-РІШЕНЬ В ЛОГІСТИЦІ

Різні блокчейн-платформи, що використовуються в логістиці, мають унікальні характеристики і орієнтовані на різні аспекти управління ланцюгами постачання. Для комплексного розуміння переваг і недоліків існуючих рішень проведемо порівняльний аналіз платформ за наступними критеріями: прозорість

процесів, безпека даних, вартість впровадження та широта застосування. Порівняльний аналіз платформ TradeLens, VeChainThor, OriginTrail, BlockVerify та Modum наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз блокчейн-рішень

Платформа	Прозорість процесів	Безпека даних	Вартість впровадження	Широта застосування
TradeLens	Висока, з можливістю доступу до даних у реальному часі для всіх учасників	Висока, завдяки захищеним смарт-контрактам	Середня, залежить від масштабів бізнесу	Морські перевезення, глобальна логістика
VeChainThor	Висока, з інтеграцією IoT для детального моніторингу	Висока, дані надійно захищені в блокчейні	Висока, через інтеграцію IoT-обладнання	Харчова промисловість, фармацевтика
OriginTrail	Висока, із забезпеченням незалежного аудиту ланцюга поставок	Висока, за рахунок децентралізованого зберігання	Середня, доступна для малого та середнього бізнесу	Харчова промисловість, роздрібна торгівля, фармацевтика
BlockVerify	Середня, фокусується на запобіганні шахрайству	Висока, спрямована на автентифікацію товарів	Середня, залежить від масштабів впровадження	Фармацевтика, електроніка, коштовні товари
Modum	Висока, за рахунок моніторингу температури вантажу в реальному часі	Висока, завдяки IoT і блокчейн-шифруванню	Висока, через використання спеціальних сенсорів	Фармацевтика, температурно-чутливі товари

Джерело: авторська розробка

Однією з головних переваг використання блокчейну в логістиці є прозорість (Arte & Petrovsky, 2016), яка досягається завдяки незмінним записам даних, доступним для всіх учасників ланцюга постачання. Прозорість дозволяє

уникати проблем із затримками, непорозуміннями та спрощує процес перевірки інформації. Кожна з розглянутих платформ пропонує різні рівні прозорості:

- TradeLens: забезпечує повну прозорість для всіх учасників морських перевезень, дозволяючи бачити інформацію про вантаж в реальному часі. Це робить процеси відстеження вантажів зручними для портів, перевізників та урядових служб.
- VeChainThor: використовує IoT для збору даних, що дозволяє забезпечити детальну прозорість, особливо для товарів, чутливих до умов транспортування, таких як продукти харчування та медикаменти (Investopedia Team, 2024).
- OriginTrail: пропонує незалежний аудит ланцюга постачання та високу прозорість, що є важливим для індустрій, де важливо контролювати походження та якість продукції (Vake.io 2024).
- BlockVerify: платформа більше орієнтована на захист від підробок, ніж на прозорість усіх логістичних процесів, але дозволяє перевіряти справжність товарів у ланцюгу постачання (PixelPlex, 2024).
- Modum: забезпечує прозорість умов транспортування завдяки моніторингу температури, що особливо корисно для температурно-чутливих товарів.

Блокчейн технологія відома своїм надійним захистом даних, оскільки всі записи є незмінними та доступними тільки за попередньо визначеними правилами. Безпека особливо важлива для логістичних процесів, де обробляються чутливі дані про походження товарів, умови зберігання, транспортування тощо. Кожна з розглянутих платформ пропонує такі рівні безпеки:

- TradeLens: забезпечує безпеку завдяки використанню смарт-контрактів, які автоматично виконують транзакції за наперед визначеними умовами. Це дозволяє мінімізувати людський фактор та забезпечити безпеку обміну даними.

- VeChainThor: висока безпека забезпечується завдяки застосуванню технології блокчейн в поєднанні з IoT, що дозволяє збирати і захищати дані про умови транспортування в реальному часі.
- OriginTrail: використовує децентралізовану мережу, що робить систему стійкою до зломів і втрати даних. Ця платформа також має високий рівень безпеки завдяки особливостям побудови блокчейну.
- BlockVerify: орієнтується на автентифікацію товарів і безпеку інформації про їх походження, що є важливим у боротьбі з шахрайством.
- Modum: завдяки застосуванню IoT-датчиків та блокчейну забезпечує високий рівень безпеки для даних, пов'язаних із температурою та іншими умовами транспортування.

Вартість впровадження блокчейн-технологій в логістиці може суттєво відрізнятись залежно від специфіки платформи, інтеграції додаткових технологій та вимог до обслуговування. Кожна з розглянутих платформ пропонує різні рівні інвестиційних витрат:

- TradeLens: має середню вартість, оскільки платформа вимагає інтеграції з різними системами, що вже використовуються в логістиці, однак масштаби впровадження визначають кінцеву вартість для клієнта.
- VeChainThor: висока вартість пов'язана з необхідністю впровадження IoT-датчиків та проведенням налаштувань для конкретних галузей (наприклад, харчова промисловість та фармацевтика).
- OriginTrail: середня вартість впровадження робить платформу доступною для малого та середнього бізнесу, оскільки вона не вимагає дорогого обладнання, такого як IoT.
- BlockVerify: вартість залежить від масштабів застосування і необхідності у великих обсягах даних, які потрібно обробляти для автентифікації товарів.
- Modum: вартість є високою, оскільки ця платформа потребує IoT-датчиків та специфічного обладнання для моніторингу умов транспортування, що підходить для фармацевтичної галузі.

Широта застосування є важливим критерієм для оцінки потенціалу блокчейн-рішень у логістиці, оскільки платформи можуть бути вузькоспеціалізованими або ж універсальними, що дозволяє використовувати їх у різних галузях. Кожна з розглянутих платформ має різні рівні універсальності:

- TradeLens: має широку сферу застосування, зокрема в морських перевезеннях і глобальній логістиці, що дозволяє їй охоплювати численні аспекти транспортування та адміністративного управління.
- VeChainThor: орієнтована на галузі, де необхідний контроль умов зберігання і транспортування, як-от фармацевтика і продукти харчування.
- OriginTrail: платформа має широке застосування в таких галузях, як харчова промисловість, фармацевтика та роздрібна торгівля, де важлива прозорість та перевірка походження товарів.
- BlockVerify: обмежена певними галузями, де проблема підробок є критичною, зокрема фармацевтикою, електронікою та коштовними товарами.
- Modum: вузькоспеціалізована платформа, яка підходить для галузей з температурно-чутливими товарами, таких як фармацевтика, і менш ефективна в інших сферах.

Проведений порівняльний аналіз показує, що кожна з платформ має свої переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі оптимального рішення для конкретного виду логістичних процесів. Блокчейн-платформи, такі як TradeLens і OriginTrail, добре підходять для широкого використання, тоді як VeChainThor та Modum є більш спеціалізованими і потребують додаткових ресурсів для інтеграції.

2.3. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ БЛОКЧЕЙН-РІШЕНЬ ДЛЯ ЛОГІСТИКИ

У сучасній логістиці використання блокчейн-технологій (Banerjee, 2020) дозволяє вирішувати низку ключових завдань - від забезпечення прозорості процесів до зменшення операційних витрат. Однак кожна платформа має свої унікальні особливості, які визначають її переваги та обмеження у різних умовах

застосування. Далі розглянемо ключові блокчейн-рішення в логістиці, порівнюючи їх переваги та недоліки.

TradeLensvsOriginTrail.

TradeLens, розроблена IBM та Maersk, забезпечує високий рівень прозорості процесів у глобальній морській логістиці. Її головна перевага - широта застосування для глобальних ланцюгів постачання, оскільки платформа підтримує інтеграцію між морськими перевізниками, вантажовідправниками та митними службами. Це робить TradeLens надзвичайно корисною для великих підприємств, які працюють у міжнародних масштабах. OriginTrail, у свою чергу, більше орієнтована на управління даними та створення децентралізованої бази для відстеження продукції, що підходить для середніх і малих компаній з локальними або регіональними ланцюгами постачання. Нижче наведені переваги та недоліки цих платформ:

Переваги TradeLens:

- Забезпечує інтеграцію на всіх етапах морського транспортування.
- Підтримує масштабованість та адаптивність для глобальних операцій.

Недоліки TradeLens:

- Високі початкові витрати на інтеграцію для середнього бізнесу.
- Більш орієнтована на морську логістику, через що менш придатна для логістики інших видів транспорту.

Переваги OriginTrail:

- Гнучкість для застосування в локальних і регіональних ланцюгах постачання.
- Фокус на управлінні даними, що зменшує витрати на адміністрування.

Недоліки OriginTrail:

- Менш придатна для великих глобальних операцій через обмежену підтримку масштабування.

- Може потребувати додаткових інструментів для повної інтеграції з морськими і повітряними перевізниками.

Таким чином, TradeLens є більш придатною для великих компаній, що працюють у міжнародному масштабі, тоді як OriginTrail підходить для локальних ланцюгів, де менше значення має глобальність, але важлива прозорість і точність відстеження товарів.

VeChainThorvsBlockVerify.

VeChainThor пропонує унікальні можливості для інтеграції з IoT, що є важливою перевагою для відстеження товарів і забезпечення умов зберігання. Це робить платформу особливо корисною для компаній, які працюють з високочутливими або дорогими товарами, наприклад, у фармацевтичній чи харчовій промисловості. У свою чергу, BlockVerify спеціалізується на захисті від підробок та шахрайства, що є важливою функцією для логістичних процесів із товарами високої вартості, такими як ювелірні вироби, елітна електроніка та інші. Нижче наведені переваги та недоліки цих платформ:

Переваги VeChainThor:

- Потужна інтеграція з IoT-пристроями для моніторингу умов перевезення.
- Можливість відстежувати походження і стан товару в реальному часі.

Недоліки VeChainThor:

- Високі витрати на налаштування IoT-систем, що можуть бути невиправданими для середнього бізнесу.
- Обмежена функціональність для ланцюгів, де не потрібно ретельного контролю умов перевезення.

Переваги BlockVerify:

- Вузька спеціалізація на захисті від підробок, що критично важливо для галузей з дорогими товарами.
- Легке впровадження для контролю автентичності продукції.

Недоліки BlockVerify:

- Менш корисна для галузей, які не потребують захисту від підробок, наприклад, у масовому виробництві або транспортній логістиці.
- Обмежені можливості для моніторингу умов перевезення, на відміну від VeChainThor.

Таким чином, VeChainThor є ідеальним вибором для галузей з температурно-чутливими або швидкопсувними товарами, де важлива інтеграція з IoT. BlockVerify ж краще підходить для специфічних ринків, де критичним є захист від підробок.

ModumvsVeChainThor.

Modum створена спеціально для моніторингу умов перевезення, зокрема температурно-чутливих товарів. Це робить платформу дуже привабливою для фармацевтичної галузі, де точний контроль температури є обов'язковою вимогою. VeChainThor також може відстежувати умови перевезення, однак має ширшу сферу застосування завдяки інтеграції з IoT, що дозволяє використовувати платформу у різних галузях. Нижче наведені переваги та недоліки цих платформ:

Переваги Modum:

- Спеціалізована система контролю температури, що знижує ризик псування продукції.
- Підходить для фармацевтики та харчової промисловості, де важливий контроль кліматичних умов.

Недоліки Modum:

- Низька гнучкість для інших галузей, де немає потреби в ретельному контролі температури.
- Відсутність можливості інтеграції з широким спектром IoT-пристроїв, як у VeChainThor.

Переваги VeChainThor:

- Широкі можливості для моніторингу умов перевезення з використанням IoT.

- Підходить для галузей з високочутливими товарами, але також адаптована до інших сфер.

Недоліки VeChainThor:

- Може бути дорожчою в реалізації, особливо для малих і середніх підприємств.
- Більш комплексна платформа, що може потребувати значних зусиль для налаштування.

Таким чином, Modum є ідеальним рішенням для галузей, де ключовим є контроль температури та умов зберігання, тоді як VeChainThor забезпечує гнучкість для більш широкого спектру потреб.

Кожна блокчейн-платформа має свої переваги та обмеження, які роблять її корисною для конкретних логістичних задач. TradeLens і OriginTrail добре підходять для організацій, що потребують масштабованості та прозорості для управління ланцюгами постачання, але відрізняються своєю придатністю до різних типів підприємств. VeChainThor та BlockVerify демонструють різні підходи до захисту автентичності та моніторингу умов зберігання товарів, що дозволяє використовувати їх у галузях із високими вимогами до безпеки та якості продукції. Modum виділяється своєю спеціалізацією на температурному контролі, що робить його надійним інструментом для фармацевтики.

Цей порівняльний аналіз демонструє, що вибір блокчейн-платформи для логістики залежить від конкретних потреб бізнесу: глобальність ланцюга постачання, потреба у високій прозорості, захист від підробок, температурний контроль та інтеграція з IoT.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ

3.1. ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ ДЛЯ "НОВОЇ ПОШТИ"

«Нова пошта» - провідна українська логістична компанія, яка надає послуги експрес-доставки документів, посилок і вантажів по Україні та за кордон (Kotova, 2020; Bronnikova, 2020). Великі обсяги обробки замовлень та потреба в ефективності, прозорості та безпеці роблять «Нову Пошту» ідеальним вибором для впровадження системи управління логістичними процесами на базі блокчейну. У цьому підрозділі визначено основні функціональні та нефункціональні вимоги до такої системи з урахуванням конкретних обставин роботи компанії.

Функціональні вимоги(Kamble, Gunasekaran, & Arha, 2019):

1. Автоматизація управління розподілом:
 - Реєстрація товару в системі за унікальним ідентифікатором
 - Відстеження статусу замовлення в режимі реального
 - Підтримка маршрутів доставки та оптимізація їх вибору залежно від навантаження.
2. Перевірка та підтвердження транзакцій:
 - Запис всіх етапів доставки в блокчейні, включаючи отримання, доставку, зберігання та доставку посилки.
 - Використання цифрових підписів для підтвердження операцій, зокрема отримання посилок кур'єрами, переказів між відділеннями та отримання посилок клієнтами.
3. Обробка фінансових операцій:
 - Інтегрований функціонал ескроу для забезпечення безпеки фінансових операцій між клієнтами та Новою Поштою.

- Автоматичне списання та перерахування коштів після виконання умов договору поставки.

4. Вирішення конфліктних ситуацій:

- Автоматизація процесу вирішення спірних ситуацій, таких як затримки доставки, пошкоджені або втрачені пакунки.

- Накладення штрафів або компенсацій відповідно до встановлених умов.

5. Інтеграція IoT для моніторингу статусу доставки:

- Відстеження температури, вологості та розташування пакетів під час транспортування.

- Повідомлення у разі порушення умов перевезення.

6. Ведення бухгалтерського обліку для корпоративних клієнтів:

- Забезпечення можливості автоматизації для звичайних замовлень для великих корпоративних клієнтів.

- Спеціальні смарт-контракти для клієнтів B2B, які пропонують знижки, бонуси та відстрочення платежів.

7. Гнучкість до мінливих умов:

- Зміна замовлення на основі вимог клієнта (адреса доставки, одержувача тощо) і фіксація зміни в блокчейні.

Нефункціональні вимоги

1. Продуктивність:

- Система повинна обробляти тисячі транзакцій за хвилину, враховуючи обсяги відправлень "Нової пошти".

- Мінімальна затримка при оновленні статусу доставки та передачі даних між компонентами.

2. Масштабованість:

- Забезпечення можливості додавання нових учасників (наприклад, нових партнерів чи відділень) без значного зниження продуктивності.

- Підтримка зростання обсягів замовлень у періоди підвищеного попиту (свята, акційні дні).

3. Безпека:

- Використання сучасних криптографічних механізмів для захисту даних.

- Гарантована захищеність фінансових операцій та персональної інформації клієнтів.

- Запобігання втручанню в блокчейн або маніпуляціям із даними.

4. Прозорість:

- Усі записи у блокчейні мають бути доступними для перевірки всіма учасниками системи (клієнтами, кур'єрами, адміністрацією "Нової пошти").

- Неможливість видалення або модифікації даних без залишення сліду.

5. Стійкість до збоїв:

- Забезпечення безперебійної роботи навіть у разі збоїв окремих компонентів системи.

- Наявність механізмів резервного копіювання та відновлення даних.

6. Інтеграція з існуючими системами:

- Повна сумісність із CRM-системою "Нової пошти", її внутрішніми базами даних, мобільними та веб-додатками.

- Легка інтеграція з іншими платформами для електронної комерції, банківськими системами та митними службами.

Аналіз поточних потреб "Нової пошти" (Sashka, 2021)

1. Висока завантаженість під час пікових періодів:

- Необхідність у злагодженій системі управління маршрутизацією для уникнення перевантажень.

2. Проблеми із затримками та відстеженням:

- Клієнти часто скаржаться на неточності в оновленні статусу замовлень.

- Складність у визначенні винуватця у разі порушення строків доставки.
- 3. Потреба у мінімізації конфліктів:
 - Часті суперечки щодо втрати чи пошкодження посилок, які потребують значних ресурсів для вирішення.
- 4. Недостатня прозорість для клієнтів:
 - Відсутність повної інформації про те, як обробляються замовлення, знижує довіру до системи.

Впровадження блокчейн-системи дозволить "Новій пошті":

- Забезпечити прозорість логістичних операцій через запис кожного етапу доставки в блокчейні.
- Автоматизувати фінансові транзакції завдяки смарт-контрактам, усуваючи потребу в ручній обробці платежів.
- Підвищити точність моніторингу, інтегрувавши IoT-системи для відстеження умов перевезення.
- Знизити витрати на вирішення конфліктних ситуацій через автоматизовані компенсації та штрафи.
- Оптимізувати маршрути та рівномірно розподіляти навантаження на логістичну інфраструктуру.

Урахування цих вимог і потреб допоможе створити ефективну, надійну та конкурентоспроможну систему управління логістичними процесами, яка відповідатиме високим стандартам "Нової пошти".

3.2. АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ ДЛЯ "НОВОЇ ПОШТИ"

Архітектура системи управління логістичними процесами "Нової пошти" на основі блокчейну повинна враховувати особливості роботи компанії, великий обсяг оброблюваних замовлень, потребу в безпеці, прозорості, швидкості та

інтеграції з існуючими рішеннями. Вона включає ключові компоненти, що забезпечують злагоджену роботу системи, та описує їхню взаємодію.

Ключові компоненти архітектури

1. Блокчейн-платформа

- Призначення: забезпечує децентралізовану обробку та зберігання даних. Усі операції реєструються як транзакції, які додаються до блоків.
- Функції:
 - Запис усіх етапів доставки: від реєстрації посилки до її видачі одержувачу.
 - Забезпечення прозорості шляхом доступу до записів усіх учасників системи (з урахуванням ролей).
 - Захист даних від маніпуляцій чи видалення.
- Технологія: можливе використання блокчейн-мережі типу HyperledgerFabric або Ethereum, адаптованої для корпоративних потреб.

2. Смарт-контракти

- Призначення: автоматизація угод між учасниками процесу доставки (клієнтами, перевізниками, партнерами).
- Функції:
 - Реєстрація замовлення та перевірка правильності введених даних.
 - Автоматизація платежів: виконання фінансових операцій після виконання умов контракту.
 - Верифікація транзакцій: підтвердження передачі посилки, її доставки чи повернення.
 - Вирішення спірних ситуацій, зокрема компенсації у разі втрати чи пошкодження.
- Особливості:

- Контракт містить умови доставки, строки, відповідальних сторін та алгоритми обробки форс-мажорів.

3. Інтерфейси для користувачів

- Призначення: забезпечення зручного доступу до функціоналу системи для клієнтів, кур'єрів та адміністрації компанії.
- Функції:
 - Веб-інтерфейс для створення замовлень та відстеження доставки.
 - Мобільний додаток для клієнтів та кур'єрів.
 - Інструменти аналітики для адміністрації.
- Особливості:
 - Легка інтеграція з наявними рішеннями, такими як мобільний додаток "Нової пошти".

4. Інтеграція з IoT-системами

- Призначення: забезпечення моніторингу стану посилок у реальному часі.
- Функції:
 - Відстеження місцезнаходження посилок за допомогою GPS-трекерів.
 - Контроль температури, вологості та інших параметрів для чутливих вантажів.
 - Оповіщення у разі порушення умов перевезення.
- Приклад: інтеграція з існуючою системою сканування штрих-кодів "Нової пошти" для збору даних.

5. База даних (off-chain)

- Призначення: зберігання метаданих, які не потребують реєстрації в блокчейні.
- Функції:

- Зберігання додаткової інформації про посилки, яка не входить до основних транзакцій у блокчейні (опис товару, фото, документи).
- Формування звітів та аналітики для внутрішнього використання.
- Інтеграція з CRM "Нової пошти" для управління клієнтськими даними.

Взаємодія компонентів:

1. Реєстрація замовлення
 - Клієнт створює замовлення через мобільний додаток або у відділенні "Нової пошти".
 - Дані фіксуються у смарт-контракті, після чого інформація про замовлення записується в блокчейн.
2. Маршрутизація та передача посилки
 - Алгоритми вибору оптимального маршруту аналізують завантаженість кур'єрів, складів та дорожню ситуацію.
 - IoT-трекери реєструють зміни місцезнаходження посилки, передаючи дані до системи.
3. Доставка та підтвердження
 - Кур'єр реєструє передачу посилки клієнту через мобільний додаток, що автоматично оновлює статус у блокчейні.
 - Клієнт підтверджує отримання посилки, підписуючи транзакцію цифровим підписом.
4. Вирішення спірних ситуацій
 - У разі виникнення суперечностей (наприклад, втрати посилки) система активує смарт-контракт для вирішення ситуації.
 - Умови договору визначають, чи підлягає спірна ситуація умовам компенсації збитків клієнту.
5. Фінансова взаємодія

- Смарт-контракти керують платежами: гроші автоматично перераховуються після виконання всіх умов.

Переваги архітектури:

- Прозорість: усі операції фіксуються у блокчейні, що зменшує ризик шахрайства.
- Автоматизація: зменшення навантаження на операторів завдяки смарт-контрактам.
- Безпека: дані захищені від підробки та несанкціонованого доступу.
- Ефективність: інтеграція з IoT та автоматизоване управління маршрутами підвищують точність і швидкість доставки.
- Масштабованість: архітектура легко адаптується до зростання обсягів обробки замовлень.

Запропонована архітектура логістичної системи на основі блокчейну для "Нової пошти" дозволяє ефективно вирішити проблеми прозорості, безпеки та автоматизації, забезпечуючи зручність для клієнтів і внутрішньої адміністрації. Інтеграція блокчейну, IoT та смарт-контрактів значно підвищує ефективність логістичних процесів і довіру між учасниками системи.

3.3. ПРОЕКТУВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Смарт-контракти є важливою складовою системи управління логістичними процесами на основі блокчейну для компанії "Нова пошта". Вони дозволяють автоматизувати багато процесів, підвищити прозорість операцій, знизити можливість помилок та шахрайства, а також полегшити взаємодію між різними учасниками логістичного ланцюга. В рамках цієї частини роботи буде описано, як смарт-контракти можуть бути спроектовані для автоматизації та оптимізації процесів, що здійснюються в рамках "Нової пошти", зокрема у контексті доставки посилок, верифікації платежів, а також вирішення спірних ситуацій.

Основні функції смарт-контракту для "Нової пошти":

1. Реєстрація замовлення на доставку
 - Опис функції: Клієнт створює замовлення через мобільний додаток або онлайн-форму на сайті компанії. Смарт-контракт автоматично фіксує деталі замовлення: розміри, вага, адреси відправника та одержувача, тип послуги (стандартна доставка, експрес-доставка, доставка з наложеним платежем тощо).
 - Принцип роботи: Після введення замовлення, смарт-контракт перевіряє правильність введених даних та автоматично ініціює створення транзакції в блокчейні для підтвердження інформації. Таким чином, фіксується кожен крок виконання замовлення.
 - Інтеграція: Цей етап стосується інтеграції з існуючими інформаційними системами "Нової пошти", щоб дані про замовлення могли передаватися до інших компонентів системи (складські системи, кур'єри, митні органи).
2. Визначення вартості доставки та автоматичний розрахунок плати
 - Опис функції: Визначення вартості доставки на основі параметрів замовлення (вага, об'єм, тип доставки тощо). Смарт-контракт автоматично розраховує ціну на основі актуальних тарифів, які можуть включати додаткові витрати (наприклад, страхування).
 - Принцип роботи: Після створення замовлення і підтвердження всіх параметрів, смарт-контракт виконує розрахунок вартості доставки. Усі фінансові транзакції відразу фіксуються в блокчейні, забезпечуючи автоматичну платіжну операцію, коли посилка передається кур'єру або коли вона доставляється клієнту.
 - Інтеграція: Оскільки вартість доставки залежить від тарифів, смарт-контракт автоматично інтегрується з системою цін "Нової пошти".
3. Моніторинг процесу доставки та оновлення статусу

- Опис функції: Смарт-контракт відповідає за реєстрацію кожного етапу доставки та автоматичне оновлення статусу посилки (в процесі доставки, на складі, доставлено тощо).
- Принцип роботи: Використовуючи IoT-пристрої та інші технології моніторингу, смарт-контракт постійно оновлює статус посилки в реальному часі. Наприклад, кожен раз, коли посилка переміщується на нову локацію, або коли її отримує клієнт, смарт-контракт реєструє це у блокчейні.
- Інтеграція: Смарт-контракт інтегрується з системою відстеження "Нової пошти" для отримання даних про місцезнаходження та стан посилки. Це дає можливість клієнту в будь-який час перевіряти статус свого замовлення.

4. Автоматична верифікація доставки та підтвердження отримання

- Опис функції: Після того як посилка доставлена, смарт-контракт автоматично здійснює перевірку того, чи був здійснений процес доставки відповідно до умов контракту.
- Принцип роботи: Якщо клієнт підтверджує отримання посилки через мобільний додаток або інший інтерфейс, смарт-контракт здійснює верифікацію, що доставка виконана успішно. У разі виникнення заперечень чи спірних ситуацій, смарт-контракт забезпечує механізм для вирішення конфлікту.
- Інтеграція: Для підтвердження отримання може бути використано цифровий підпис клієнта, що додається до запису в блокчейні. Це забезпечить додаткову безпеку та верифікацію процесу.

5. Вирішення спірних ситуацій

- Опис функції: Якщо між клієнтом і компанією виникають суперечки (наприклад, з приводу пошкодження товару або затримки в доставці), смарт-контракт автоматично ініціює процедуру

вирішення конфлікту. Це може включати компенсацію або повернення товару.

- Принцип роботи: Спочатку смарт-контракт намагається вирішити суперечку за допомогою стандартних процедур, таких як автоматичне повернення коштів, якщо доставка була здійснена з порушенням умов контракту. Якщо сторонам не вдалося дійти згоди, контракт передбачає етап арбітражу, де нейтральна сторона (наприклад, третя сторона чи спеціальна комісія) приймає рішення.

- Інтеграція: Ця функція інтегрується з системою підтримки клієнтів "Нової пошти" для автоматизації процесу вирішення скарг.

6. Платежі та фінансова взаємодія

- Опис функції: Смарт-контракт автоматично ініціює фінансові транзакції після виконання умов доставки.

- Принцип роботи: Якщо доставка була успішною, смарт-контракт автоматично переведе кошти на рахунок "Нової пошти" або іншого відповідного учасника (перевізника, партнера) за вказаною сумою, що була визначена на етапі реєстрації замовлення.

- Інтеграція: Інтеграція з платіжними системами та банками забезпечить автоматичні розрахунки без втручання людини.

Проаналізуємо можливі непередбачені ситуації

1. Форс-мажорні ситуації

- У разі непередбачених обставин, таких як природні катаклізми, страйки, технічні неполадки або закриття кордонів, смарт-контракт має містити механізм для перенесення або скасування угоди.

- Для цього може бути визначено певні умови, при яких обидві сторони можуть ініціювати розірвання контракту або перенесення строків доставки.

2. Помилки у введених даних

- Якщо клієнт неправильно заповнив адресу або інші дані, смарт-контракт має механізм для перевірки та коригування таких помилок до активації угоди.
3. Невідповідність товару
- У разі, якщо товар пошкоджений або не відповідає вимогам замовлення, смарт-контракт може активувати процедуру повернення або компенсації, автоматично ініціюючи фінансові транзакції для повернення грошей клієнту.

3.4. АЛГОРИТМИ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ СИСТЕМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙНУ В КОМПАНІЇ "НОВА ПОШТА"

Реалізація управління логістичними процесами на основі блокчейну в "Новій пошті" потребує чіткої координації між усіма учасниками системи. Для забезпечення прозорості, автоматизації та оперативності взаємодії використовуються смарт-контракти та децентралізовані механізми передачі даних, що дозволяє виключити втручання третіх сторін і людський фактор на ключових етапах.

Основні учасники системи

1. Відправники (клієнти): фізичні або юридичні особи, які формують замовлення на доставку.
2. Одержувачі: кінцеві отримувачі відправлення, які підтверджують отримання посилки.
3. Кур'єри: працівники "Нової пошти", які відповідають за транспортування посилок.
4. Склади та логістичні хаби: точки сортування і зберігання посилок.
5. Адміністратори системи: представники "Нової пошти", які контролюють дотримання правил і забезпечують коректну інтеграцію.

6. Митні органи: задіяні у випадках міжнародних перевезень.
7. Система блокчейну: децентралізована мережа, де зберігаються дані про всі операції.

Етапи взаємодії та алгоритми для кожного учасника:

1. Відправник (Клієнт)

1. Створення замовлення:
 - Клієнт через мобільний додаток або сайт вводить дані про посилку (адреса, вага, тип доставки).
 - Смарт-контракт перевіряє коректність введених даних та підтверджує створення замовлення.
2. Оплата послуги:
 - Вартість доставки автоматично розраховується смарт-контрактом.
 - Клієнт оплачує послугу, що фіксується у блокчейні.
3. Відправлення посилки:
 - Посилка передається кур'єру або на склад, що підтверджується записом у блокчейні.

Результати:

- Замовлення зафіксовано.
- Всі дані передані у систему.

2. Кур'єри

1. Прийом посилки:
 - Кур'єр приймає посилку, сканує її QR-код, що автоматично оновлює статус у блокчейні.
2. Доставка до хаба або кінцевого пункту:
 - Кур'єр відзначає кожен етап транспортування у мобільному додатку, що синхронізується із блокчейном.
3. Підтвердження доставки:
 - Одержувач підтверджує отримання посилки через мобільний додаток або цифровий підпис. Смарт-контракт завершує угоду.

Результати:

- Кур'єр забезпечує прозорість доставки.
- Дані про місцезнаходження посылки доступні в реальному часі.

3. Логістичні хаби (Склади)

1. Прийом та сортування посилок:
 - При надходженні посылки на склад, її сканують, і смарт-контракт оновлює статус.
2. Зберігання та оптимізація маршруту:
 - Дані про місце зберігання фіксуються, і система аналізує оптимальні маршрути для доставки.
3. Відправка посылки далі:
 - Після сортування посылка передається на наступний етап доставки.

Результати:

- Відбувається інтеграція даних з системами IoT для моніторингу температури або вологості (у випадку специфічних вимог).
- Оптимізуються маршрути доставки.

4. Отримувач

1. Верифікація даних:
 - Одержувач через додаток отримує сповіщення про доставку.
 - Перевіряє інформацію про посылку та підтверджує її отримання.
2. Підтвердження отримання:
 - Сканує QR-код або ставить цифровий підпис, що автоматично завершує смарт-контракт.
3. Оцінка послуги:
 - Клієнт може залишити відгук або подати скаргу через додаток, якщо були недоліки.

Результати:

- Завершення операції.

- Дані про підтвердження доставки фіксуються у блокчейні.

5. Митні органи

1. Верифікація документації:
 - Смарт-контракт надає митним органам доступ до документів про посилку.
2. Оформлення та перевірка:
 - Митні органи підтверджують проходження посилки через кордон, що реєструється у блокчейні.
3. Пропуск посилки:
 - Після завершення перевірки статус змінюється на "митницю пройдено".

Результати:

- Прозорість та швидкість проходження митних процедур.

6. Система блокчейну

1. Запис даних:
 - Зберігає кожен етап доставки, від створення замовлення до підтвердження отримання.
2. Забезпечення безпеки:
 - Гарантує цілісність даних та захист від підробок.
3. Прозорість для всіх учасників:
 - Учасники можуть перевіряти статуси операцій у реальному часі.

Також розробимо декілька можливих сценаріїв роботи системи

1. Посилка загублена:
 - Смарт-контракт фіксує останнє місцезнаходження посилки, що допомагає визначити винну сторону (наприклад, кур'єра або склад).
 - Ініціюється процедура компенсації.
2. Посилка пошкоджена:

- Дані IoT-сенсорів, інтегрованих із блокчейном, дозволяють визначити момент пошкодження (наприклад, через перевищення температури).
 - Смарт-контракт автоматично активує процедуру страхування або компенсації.
3. Затримка в доставці:
- Якщо час доставки перевищує визначений смарт-контрактом термін, активується процедура компенсації клієнту.
4. Спірні ситуації між учасниками:
- Смарт-контракт надає докази всіх виконаних дій, допомагаючи вирішити конфлікти.

Алгоритми взаємодії між учасниками системи блокчейну забезпечують ефективну та прозору роботу логістичної системи "Нової пошти". Вони дозволяють мінімізувати ризики помилок, автоматизувати ключові процеси, а також оперативно вирішувати проблеми. Використання блокчейну сприяє покращенню клієнтського досвіду та оптимізації операцій компанії.

3.5. Інтеграція з існуючими системами логістики "Нової пошти"

Інтеграція блокчейн-рішень у логістичну систему "Нової пошти" є ключовим етапом для підвищення прозорості, ефективності та надійності процесів. Оскільки компанія вже використовує сучасні інформаційні системи для управління логістикою, впровадження блокчейну повинно бути адаптивним та безперебійним.

Нова Пошта використовує такі основні системи для управління логістичними процесами:

- Системи управління транспортом (TMS): для планування, моніторингу та оптимізації маршрутів доставки.
- Системи управління складом (WMS): для відстеження розташування та руху товарів на складах.

- Системи відстеження посилок: що дозволяють клієнтам отримувати актуальну інформацію про статус доставки.
- Платформи для взаємодії з клієнтами (CRM): для управління замовленнями, запитами та рекламаціями.
- Мобільні додатки та онлайн-платформи: для створення замовлень і оплати послуг.

Щоб блокчейн-рішення органічно доповнило існуючу інфраструктуру, необхідно виконати такі вимоги:

1. Сумісність із поточними системами:
 - Забезпечення інтеграції через API або інші програмні інтерфейси.
 - Використання стандартних протоколів обміну даними.
2. Мінімізація змін у процесах:
 - Підтримка безперервності роботи існуючих систем під час впровадження.
3. Простота використання:
 - Створення інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів для взаємодії з блокчейном.
4. Масштабованість:
 - Можливість поступового впровадження блокчейну в окремих сегментах логістики.
5. Безпека даних:
 - Забезпечення захисту конфіденційної інформації компанії та клієнтів.

У інтеграції блокчейну до систем «Нової Пошти» є декілька основних аспектів

1. Інтеграція з TMS
 - Завдання: використання блокчейну для автоматизації моніторингу транспорту.
 - Рішення:

- Реєстрація маршрутів доставки у блокчейні.
- Відстеження транспорту через GPS та автоматичне оновлення статусу у блокчейні.
- Використання смарт-контрактів для оплати транспортних послуг після завершення доставки.

2. Інтеграція з WMS

- Завдання: поліпшення управління складськими операціями.
- Рішення:
 - Реєстрація прийому, сортування та відправлення посилок у блокчейні.
 - Інтеграція IoT-сенсорів для фіксації умов зберігання (температура, вологість).
 - Використання смарт-контрактів для автоматизації компенсацій у разі пошкодження товарів.

3. Інтеграція з системою відстеження посилок

- Завдання: покращення прозорості та довіри клієнтів.
- Рішення:
 - Реєстрація кожного етапу доставки у блокчейні, включаючи прийом посилки, перевезення, зберігання та вручення.
 - Надання клієнтам доступу до блокчейн-даних через QR-коди або посилання.

4. Інтеграція з CRM

- Завдання: управління запитами та скаргами клієнтів.
- Рішення:
 - Автоматичне фіксування запитів клієнтів у блокчейні для забезпечення прозорості.
 - Інтеграція смарт-контрактів для автоматичного виконання гарантійних зобов'язань.

5. Інтеграція з мобільними додатками та онлайн-платформами

- Завдання: надання зручного доступу до функціоналу блокчейну.
- Рішення:
 - Створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для клієнтів.
 - Надання доступу до даних у реальному часі через мобільні пристрої.

Інтеграція має наступні переваги

1. Прозорість:
 - Завдяки блокчейну всі операції стають прозорими для учасників і клієнтів.
 - Дані про виконання процесів фіксуються автоматично, що виключає можливість маніпуляцій.
2. Автоматизація:
 - Смарт-контракти автоматизують критично важливі процеси, зменшуючи потребу у втручанні людей.
3. Підвищення довіри:
 - Клієнти та партнери компанії отримують доступ до достовірної інформації про всі операції.
4. Мінімізація ризиків:
 - Використання блокчейну знижує ризики помилок, втрат або підробки даних.

Однак у інтеграцію є ряд викликів, які необхідно буде вирішити у майбутньому

1. Високі початкові витрати:
 - Необхідність розробки та впровадження блокчейн-рішень може потребувати значних фінансових вкладень.
2. Навчання персоналу:
 - Співробітники повинні бути ознайомлені з новими технологіями.

3. Інфраструктурна готовність:

- Потрібно забезпечити готовність IT-інфраструктури до інтеграції з блокчейном.

Інтеграція блокчейну з існуючими системами "Нової пошти" дозволить значно підвищити ефективність логістичних процесів, забезпечити прозорість і довіру клієнтів, а також автоматизувати ключові операції. Однак, для успішного впровадження необхідно ретельно планувати інтеграцію та забезпечити адаптацію всіх учасників системи.

3.6. БЕЗПЕКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Безпека є одним із ключових аспектів у проектуванні системи управління логістичними процесами на основі блокчейну для компанії "Нова Пошта". Враховуючи масштаб операцій та критичну важливість даних, система повинна забезпечувати надійний захист від шахрайства, конфіденційність інформації, а також стійкість до втрати даних.

Використання блокчейну значно знижує ризики шахрайства завдяки таким особливостям (Perboli, Musso, & Rosano, 2018):

1. Незмінність даних:

- Усі записи про логістичні операції зберігаються у блоках, які неможливо змінити чи видалити без згоди учасників системи.
- Це виключає можливість маніпуляції даними про стан товару, маршрути чи оплати.

2. Прозорість для учасників:

- Всі зацікавлені сторони (перевізники, постачальники, клієнти) мають доступ до інформації про ланцюг поставок, що підвищує рівень довіри.

3. Верифікація через смарт-контракти:

- Смарт-контракти автоматизують процеси перевірки, такі як підтвердження отримання товару чи виконання умов договору.

Зважаючи на великий обсяг персональних і комерційних даних, система повинна забезпечувати їх захист за допомогою сучасних методів шифрування:

1. Шифрування даних:
 - Всі дані про транзакції шифруються за допомогою алгоритмів, таких як AES-256, що запобігає їхньому несанкціонованому доступу.
 - Ключі доступу до інформації видаються лише авторизованим учасникам.
2. Анонімізація даних:
 - Учасники системи мають доступ лише до тих даних, які стосуються їхньої ролі у процесі. Наприклад, клієнт може бачити статус своєї доставки, але не інформацію про інші транзакції.
3. Механізм доступу на основі ролей:
 - Адміністратори, перевізники та клієнти матимуть різні рівні доступу до інформації, залежно від їхніх функцій у системі.

Для забезпечення безперервності роботи системи та збереження інформації в разі збоїв передбачено:

1. Децентралізоване зберігання даних:
 - Дані у блокчейні зберігаються на декількох вузлах мережі, що унеможлиблює їх втрату через фізичний збій одного з серверів.
2. Резервне копіювання:
 - Регулярне створення резервних копій даних для додаткового захисту.
 - Копії можуть зберігатися у хмарних сховищах із високим рівнем безпеки.
3. Механізм відновлення:
 - Передбачено алгоритми швидкого відновлення доступу до даних у разі аварії.
 - Використання алгоритмів консенсусу, таких як Proof-of-Stake (PoS) або Proof-of-Authority (PoA), забезпечує цілісність блоків у разі синхронізації після збою.

У системі використовуються IoT-сенсори для моніторингу умов транспортування та зберігання. Їх захист включає:

1. Аутентифікація пристроїв:
 - Кожен сенсор отримує унікальний ідентифікатор і шифрування для передачі даних.
2. Шифрування зв'язку:
 - Дані з IoT-пристроїв передаються у блокчейн через захищені канали зв'язку.
3. Захист від фальсифікації:
 - Дані, отримані з сенсорів, автоматично реєструються у блокчейні, що виключає можливість їхнього підроблення.

Задля того, щоб система була безпечною, варто прописати та проаналізувати деякі можливі форс мажорні ситуації

1. Атаки на систему:
 - Можливі DDoS-атаки чи зломи окремих вузлів.
 - Рішення:
 - Використання розподіленої архітектури для мінімізації впливу на роботу системи.
 - Впровадження систем моніторингу та швидкого реагування.
2. Збій мережі:
 - У разі тимчасового відключення вузлів система продовжує працювати завдяки децентралізованому зберіганню.
 - Дані автоматично синхронізуються після відновлення.
3. Людський фактор:
 - Можливі помилки під час роботи з інтерфейсами чи невірне введення даних.
 - Рішення:
 - Автоматичне дублювання важливих процесів через смарт-контракти.

- Створення систем перевірки даних перед їх реєстрацією.

Запропоновані механізми мають наступні переваги

1. Стійкість до атак:
 - Завдяки децентралізованій природі блокчейну та використанню криптографії система має високий рівень захисту від зовнішніх загроз.
2. Гарантія конфіденційності:
 - Шифрування даних та анонімізація забезпечують захист комерційних і персональних даних.
3. Мінімізація людських помилок:
 - Автоматизація процесів зменшує залежність від людського фактору.

Система управління логістичними процесами "Нової пошти" на основі блокчейну здатна забезпечити високий рівень безпеки завдяки використанню сучасних технологій захисту даних та децентралізованої архітектури. Впровадження механізмів захисту від шахрайства, збереження конфіденційності та резервного копіювання гарантує надійну роботу системи в умовах зростаючих ризиків.

3.7. СЦЕНАРНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ

Моделювання роботи системи управління логістичними процесами на основі блокчейну для компанії "Нова Пошта" дозволяє продемонструвати функціонування ключових компонентів у реальних сценаріях. Це важливо для оцінки ефективності запропонованої системи, виявлення потенційних проблем та оптимізації її роботи.

Мета моделювання

- Перевірка працездатності запропонованої блокчейн-системи в умовах логістичної мережі "Нової Пошти".

- Оцінка взаємодії учасників системи (постачальників, перевізників, клієнтів, митних органів).
- Виявлення вузьких місць у процесах доставки, оплати, моніторингу.
- Аналіз роботи системи в типових та форс-мажорних сценаріях.

Розробимо та змоделюємо сценарій

1. Сценарій доставки товару

Цей сценарій моделює типовий процес доставки посилки, починаючи від її приймання у відділенні "Нової Пошти" до вручення клієнту.

Етапи:

1. Приймання посилки:
 - Клієнт створює замовлення через додаток або у відділенні.
 - Інформація про посилку (відправник, отримувач, вартість, вага, параметри доставки) автоматично записується у блокчейн.
2. Сортування та транспортування:
 - IoT-сенсори фіксують умови перевезення (температуру, вологість, місцезнаходження).
 - Дані передаються у блокчейн, де створюється запис про статус посилки.
3. Доставка до отримувача:
 - Кур'єр підтверджує доставку через мобільний інтерфейс, записуючи факт отримання у блокчейн.
 - Смарт-контракт автоматично ініціює оплату послуги (у випадку післяплати).

Очікувані результати:

- Зменшення часу на обробку замовлень.
- Відсутність маніпуляцій із даними про доставку.
- Прозорість для всіх учасників процесу.

2. Сценарій виникнення проблем

Цей сценарій моделює ситуацію, коли в процесі доставки виникають непередбачувані обставини, наприклад, пошкодження посилки або затримка.

Етапи:

1. Фіксація пошкодження:
 - IoT-сенсори автоматично реєструють зміну параметрів (перевищення температури, удари).
 - Дані передаються у блокчейн, і система надсилає сповіщення клієнту та відділу обслуговування.
2. Розгляд претензії:
 - Клієнт подає заявку через інтерфейс, яка реєструється у блокчейні.
 - Смарт-контракт запускає процес перевірки (включаючи дані з сенсорів).
3. Рішення проблеми:
 - У разі підтвердження збитків, система автоматично ініціює компенсацію клієнту або повторну доставку товару.

Очікувані результати:

- Швидке реагування на інциденти.
- Виключення людського фактору у вирішенні претензій.
- Підвищення задоволеності клієнтів.

3. Оптимізація процесу

Цей сценарій демонструє, як система може використовувати аналітику даних у блокчейні для підвищення ефективності.

Етапи:

1. Аналіз маршрутів:
 - Дані про маршрути доставки збираються у блокчейн і аналізуються для виявлення найефективніших шляхів.
2. Прогнозування попиту:
 - Система аналізує історичні дані про замовлення для прогнозування пікових періодів.
3. Автоматизація процесів:

- Смарт-контракти використовуються для автоматичного перерозподілу ресурсів (транспорт, складів) відповідно до прогнозу.

Очікувані результати:

- Оптимізація витрат на транспортування.
- Підвищення швидкості обслуговування.
- Зниження ризику перевантаження мережі у пікові періоди.

Моделювання роботи блокчейн-системи для "Нової Пошти" дозволяє перевірити її ефективність у різних сценаріях. Це допомагає ідентифікувати слабкі місця та вдосконалити функціональні можливості, забезпечуючи прозорість, безпеку та високу якість послуг для клієнтів.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній магістерській роботі досліджено впровадження блокчейн-технологій у логістичні процеси. У першому розділі розглянуто теоретичні основи логістичного менеджменту та блокчейн-технологій. Визначено функціональні можливості блокчейну, зокрема використання смарт-контрактів та інтеграцію IoT для підвищення прозорості та ефективності логістичних систем. Також проаналізовано основні проблеми логістики, які можуть бути вирішені завдяки децентралізованим технологіям, такі як ризики шахрайства, непрозорість процесів та затримки в маршрутизації.

У другому розділі виконано аналіз сучасних рішень у логістиці з використанням блокчейну та світових кейсів їх успішного застосування. Детально розглянуто поточний стан логістичних систем, виявлено її сильні сторони та недоліки, зокрема потребу в більш прозорих процесах, автоматизації взаємодії учасників та покращенні обробки даних. Це дало змогу визначити основні напрями вдосконалення системи за допомогою блокчейну.

У третьому розділі представлено розробку системи управління логістичними процесами в компанії «Нова пошта». Описано вимоги до системи, спроектовано її архітектуру, що включає блокчейн-платформу, смарт-контракти, IoT-пристрої та базу даних. Більш детально визначені функції смарт-контрактів для укладання угод, підтвердження доставки, управління платежами та вирішення спірних ситуацій. Запропоновано алгоритми взаємодії учасників, що забезпечують інтеграцію постачальників, перевізників, клієнтів і митних органів.

Особливу увагу приділено питанням безпеки, зокрема захисту даних від шахрайства, криптографічному шифруванню та резервному збереженню інформації. Проведений сценарний аналіз показав ефективність запропонованої системи в реальних ситуаціях, таких як доставка посилок, вирішення спірних ситуацій та оптимізація маршрутів.

Запропонована система демонструє потенціал впровадження блокчейну в логістику компанії «Нова пошта», що дозволяє підвищити якість обслуговування, скоротити витрати та забезпечити конкурентоспроможність послуг та компанії в цілому. Результати роботи мають теоретико-практичну цінність і можуть бути використані для реалізації подібних проєктів у логістиці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2013). *Supply Chain Logistics Management* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
3. Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics/Supply Chain Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain*. Pearson Education.
4. Grant, D. B., Trautrim, A., & Wong, C. Y. (2017). *Sustainable logistics and supply chain management*. Kogan Page Publishers.
5. Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson Education.
6. Hodoskina, O. A., Kirpicheva, S. A., Samsonova, A. A., & Shvetsova, E. A. (2020). Modern trends in the development of transport and logistics systems. *Science and Transport Progress Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. <https://doi.org/10.15802/stp2020/199736>.
7. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
8. Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. Portfolio Penguin.
9. Iqbal, M., & Matulevičius, R. (2021). Exploring Sybil and Double-Spending Risks in Blockchain Systems. *IEEE Access*, PP(99):1-1. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3081998>.
10. Pilkington, M. (2016). Blockchain technology: Principles and applications. *Research Handbook on Digital Transformations*. Edward Elgar Publishing.
11. Mougayar, W. (2016). *The Business Blockchain: Promise, Practice, and the 100-Year Quest to Reinvent the Internet*. Wiley.

12. Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. *Telecommunications Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.09.003>.
13. Buterin, V. (2014). *A next-generation smart contract and decentralized application platform*. Ethereum White Paper. <https://ethereum.org/en/whitepaper>.
14. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>.
15. Suryalakshmi, S. M., Elayaraja, M., & Vijai, C. (2021). Blockchain technology in logistics: Opportunities and challenges. *Asia Pacific Business Review*.
16. IBM. (2024). *TradeLens: The Global Shipping Platform Powered by Blockchain*. [Online]. Available: <https://www.tradelens.com>.
17. Mearian, L. (2018). Q&A: Walmart's Frank Yiannas on the use of blockchain for food safety. *Computerworld*. <https://www.computerworld.com/article/1702907/qa-walmarts-frank-yiannas-on-the-use-of-blockchain-for-food-safety.html>
18. DHL. (2018). *Blockchain in Logistics: Perspectives and Use Cases*. Retrieved from <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-blockchain-trend-report.pdf>
19. Samani, M., & Alwazna, A. (2019). *Blockchain-based supply chain management in logistics: Benefits and challenges*. *International Journal of Supply Chain Management*.
20. McKinlay, J., Pithouse, D., Sanders, J., & McGonagle, J. (2017, June). *Blockchain: Background, challenges and legal issues*. DLA Piper. <https://www.dlapiper.com/en/insights/publications/2017/06/blockchain-background-challenges-legal-issues>.
21. Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M. (2018). On blockchain and its integration with IoT: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2018.05.046>

22. Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>
23. Golosova, J., & Romanovs, A. (2018). The advantages and disadvantages of blockchain technology. *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Computer Science and Electronics Engineering*. <https://doi.org/10.1109/AIEEE.2018.8592253>
24. Khan, M. A., & Salah, K. (2017). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2017.11.022>
25. Korpela, K., Hallikas, J., & Dahlberg, T. (2017). Digital Supply Chain Transformation toward Blockchain Integration. *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*.
26. European Union Blockchain Observatory. (2021). Blockchain in Practice. <https://eismea.ec.europa.eu/system/files/2021-09/INNOSUP%20Blockchain%20in%20Practice.pdf>
27. Barley, M. (2018). *Blockchain for temperature monitoring in pharma supply chain*. *Ledger Insights*. <https://www.ledgerinsights.com/blockchain-pharma-supply-chain-temperature/>
28. Radocchia, S. (2017). *Here's how blockchain and IoT are going to impact the pharmaceutical cold chain*. *HackerNoon*. <https://hackernoon.com/heres-how-blockchain-and-iot-are-going-to-impact-the-pharmaceutical-cold-chain-4ed923e83b6a>
29. Singh, R., Dwivedi, A. D., & Srivastava, G. (2020). *Internet of Things based blockchain for temperature monitoring and counterfeit pharmaceutical prevention*. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s20143951>
30. Adhikari, N., & Ramkumar, M. (2023). IoT and blockchain integration: Applications, opportunities, and challenges. *Network*. <https://doi.org/10.3390/network3010006>

31. Dai, H.-N., Zheng, Z., & Zhang, Y. (2019). *Blockchain for Internet of Things: A survey*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.00245>
32. Apte, S., & Petrovsky, N. (2016). *Will blockchain technology revolutionize excipient supply chain management?* *Journal of Excipients and Food Chemicals*
33. Investopedia Team. (2024). *VeChain: What it is, how it works, examples, and history*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/vechain-5199044>
34. Bake.io. (2024). *OriginTrail (TRAC): Crypto's solution to supply chain management*. Bake.io. <https://blog.bake.io/origintrail-trac/>
35. PixelPlex. (2024.). *Blockchain supply chain and anti-counterfeit solution*. PixelPlex. <https://pixelplex.io/work/blockchain-supply-chain-and-anti-counterfeit-solution/>
36. Banerjee, A. (2020). *Blockchain technology: Applications in improving supply chain transparency*. *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.007>
37. Котова, Т. Д. (2020). *Аналіз конкурентоспроможності підприємства на прикладі ТОВ «Нова пошта»*. Сумський державний університет. https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/78584/1/DRB_Bronnikova_L.O._F-62-1u_2020.PDF
- Kotova, T. D. (2020). *Analysis of the Competitiveness of the Enterprise on the Example of "Nova Poshta" LLC*. Sumy State University. Retrieved from https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/78584/1/DRB_Bronnikova_L.O._F-62-1u_2020.PDF
38. Броннікова, Л. О. (2020). *Вплив зовнішніх факторів на фінансові показники підприємств*. Сумський державний університет. https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/78584/1/DRB_Bronnikova_L.O._F-62-1u_2020.PDF
- Bronnikova, L. O. (2020). *The impact of external factors on the financial performance of enterprises*. Sumy State University. Retrieved from

https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/78584/1/DRB_Bronnikova_L.O._F-62-1u_2020.PDF

39. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Arha, H. (2019). Understanding the blockchain technology adoption in supply chains. *International Journal of Production Research*. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2018.1518610>

40. Сашка, В. В. (2021). Забезпечення ефективності організації вантажних перевезень (Кваліфікаційна робота). Національний авіаційний університет. Отримано 3

https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/51392/1/ФТМЛ_2021_275_Тр.тех_Сашка.pdf
Sashka, V. V. (2021). Ensuring the efficiency of freight transportation organization (Qualification paper). National Aviation University. Retrieved from https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/51392/1/ФТМЛ_2021_275_Тр.тех_Сашка.pdf

41. Perboli, G., Musso, S., & Rosano, M. (2018). Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. *IEEE Access*, 6, 62018-62028.