

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Система відстеження товарів на основі IoT та блокчейн»**

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело*

_____ Олександр ПОНОЧОВНИЙ
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав:
здобувач вищої освіти
група ІСДМ-61

ПОНОЧОВНИЙ Олександр
Вікторович

Керівник:
*науковий ступінь,
вчене звання*

Микола ГЕРЦЮК
доктор філософії

Рецензент:
*науковий ступінь,
вчене звання*

_____ *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК
« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ СТУДЕНТУ

_____ Поночовний Олександр Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система відстеження товарів на основі IoT та блокчейн»

керівник кваліфікаційної роботи Микола ГЕРЦЮК, доктор філософії
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «15» жовтня 2024 року №
320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи: 27 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- науково-технічна література;
- технічна документація RFID;
- вимоги до систем оптимізації логістики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- Аналіз сучасного стану використання технологій IoT та блокчейн у логістиці.
- Моделювання роботи системи на прикладі логістичного ланцюга постачання.
- Розробка рекомендацій щодо впровадження запропонованої системи в реальних умовах.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

- Програмні засоби реалізації
- Концептуальна мапа системи автоматизованої логістики
- Діаграма реалізації
- Діаграма забезпечення безпеки
- Практичні приклади моделювання роботи системи

6. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	15.10 – 23.10.24	Виконано
2	Проведення аналізу сучасного стану використання технологій IoT та блокчейн у логістиці	24.10 – 01.11.24	Виконано
3	Розробити концептуальну модель інтегрованої системи відстеження товарів.	02.11 – 07.11.24	Виконано
4	Моделювання роботи системи на прикладі логістичного ланцюга постачання.	08.11 – 16.11.24	Виконано
5	Оцінювання ефективності та переваг впровадження розробленої системи.	17.11 – 21.11.24	Виконано
6	Розробка рекомендацій щодо впровадження запропонованої системи в реальних умовах.	22.11 – 11.12.24	Виконано
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	12.12 – 20.12.24	Виконано
8	Розробка демонстраційних матеріалів	21.12 – 25.12.24	Виконано

Здобувач вищої освіти
ПОНОЧОВНИЙ

(підпис)

Олександр

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Микола ГЕРЦЮК

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 5 рис., 6 табл., 23 джерел.

Мета роботи – розробка концепції інтегрованої системи відстеження товарів на основі IoT та блокчейн, яка дозволить підвищити прозорість, надійність та ефективність логістичних процесів.

Об'єкт дослідження – процеси відстеження та контролю товарів у логістичних ланцюгах постачання.

Предмет дослідження – методи та технології інтеграції IoT і блокчейн для створення ефективної системи відстеження товарів.

Короткий зміст роботи: У роботі було проведено аналіз сучасного стану систем відстеження товарів, що дозволило виявити їхні основні недоліки. Розроблено архітектуру системи та її компонентів, що дозволило створити комплексне рішення, яке включає IoT-пристрої для збору даних, шлюзи передачі для забезпечення стабільної комунікації, хмарну інфраструктуру для обробки даних і блокчейн для забезпечення безпеки та прозорості. Розроблено та детально проаналізовано систему відстеження товарів на основі технологій Інтернету речей (IoT) та блокчейну.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, БЛОКЧЕЙН, ВІДСТЕЖЕННЯ, ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАВАННЯ, СИСТЕМА

ABSTRACT

Text part of the master`s qualification work: 70 pages, 5 pictures, 6 table, 23 sources.

The purpose of the work development of the concept of an integrated product tracking system based on IoT and blockchain, which will increase the transparency, reliability and efficiency of logistics processes.

Object of research processes of tracking and controlling goods in logistics supply chains.

Subject of research methods and technologies of IoT and blockchain integration to create an effective product tracking system.

Summary of the work: The paper analyzed the current state of commodity tracking systems, which allowed us to identify their main shortcomings. The architecture of the system and its components was developed, which allowed us to create a comprehensive solution that includes IoT devices for data collection, transmission gateways to ensure stable communication, cloud infrastructure for data processing, and blockchain to ensure security and transparency. A commodity tracking system based on Internet of Things (IoT) and blockchain technologies was developed and analyzed in detail.

KEYWORDS: INTERNET OF THINGS, BLOCKCHAIN, TRACKING, SUPPLY CHAIN, SYSTEM

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВІДСТЕЖЕННЯ ТОВАРІВ	13
1.1. Сучасний стан систем відстеження товарів	13
1.2. Технологія Інтернету речей (IoT): принципи роботи та перспективи використання.....	15
1.3. Застосування блокчейн у відстеженні товарів: огляд технології та переваги.....	19
1.4. Аналіз сучасних платформ і систем відстеження.....	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ІОТ ТА БЛОКЧЕЙН.....	28
2.1. Архітектура системи: взаємодія IoT і блокчейн.....	28
2.2. Технічні вимоги до розробки системи.....	31
2.3. Алгоритм функціонування системи.....	35
2.4. Реалізація базових компонентів системи.....	39
2.5. Забезпечення безпеки та конфіденційності даних.....	42
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ.....	48
3.1. Моделювання роботи системи: практичні приклади.....	48
3.2. Порівняльний аналіз із існуючими рішеннями.....	53
3.3. Економічна та технічна оцінка впровадження системи.....	56
3.4. Рекомендації щодо вдосконалення системи.....	60
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	67
ДОДАТКИ.....	70
ДДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	71

ВСТУП

У сучасному світі швидкий розвиток цифрових технологій впливає на всі сфери життя, зокрема на логістику, управління ланцюгами постачання та контроль товарообігу. Ефективна система відстеження товарів є важливою складовою забезпечення прозорості, надійності та оптимізації процесів у логістичних операціях. Впровадження Інтернету речей (IoT) та блокчейн-технологій відкриває нові можливості для створення інтегрованих систем моніторингу та управління, які здатні автоматизувати багато аспектів цих процесів, підвищуючи їхню безпеку та зменшуючи витрати. Дипломна робота присвячена розробці та аналізу системи відстеження товарів на основі IoT та блокчейн, яка має на меті підвищення ефективності логістичних процесів та забезпечення прозорості товарообігу. У роботі пропонується дослідження принципів інтеграції цих технологій, вивчення їх впливу на управління ланцюгами постачання та обґрунтування доцільності їх впровадження в реальні логістичні системи.

Актуальність. Сучасні глобалізаційні процеси та зростання обсягів міжнародної торгівлі вимагають високого рівня ефективності в управлінні логістичними ланцюгами. Традиційні методи відстеження товарів часто є недостатньо ефективними через значні витрати, низьку швидкість обробки інформації та ризики шахрайства або втрат. Використання IoT дозволяє забезпечити постійний моніторинг стану та місцезнаходження товарів у реальному часі, тоді як блокчейн гарантує прозорість та незмінність даних. Актуальність теми зумовлена необхідністю інтеграції цих технологій для вирішення нагальних проблем логістики, таких як скорочення витрат, мінімізація ризиків та підвищення ефективності.

Метою дипломної роботи є розробка концепції інтегрованої системи відстеження товарів на основі IoT та блокчейн, яка дозволить підвищити прозорість, надійність та ефективність логістичних процесів.

Об'єктом дослідження є процеси відстеження та контролю товарів у логістичних ланцюгах постачання.

Предметом дослідження є методи та технології інтеграції IoT і блокчейн для створення ефективної системи відстеження товарів.

Завдання

1. Провести аналіз сучасного стану використання технологій IoT та блокчейн у логістиці.
2. Дослідити технічні аспекти створення системи відстеження товарів із використанням IoT-сенсорів та блокчейн-мережі.
3. Розробити концептуальну модель інтегрованої системи відстеження товарів.
4. Виконати моделювання роботи системи на прикладі логістичного ланцюга постачання.
5. Оцінити ефективність та переваги впровадження розробленої системи.
6. Розробити рекомендації щодо впровадження запропонованої системи в реальних умовах.

Методи дослідження. У роботі використовуються методи системного аналізу для дослідження сучасного стану технологій IoT та блокчейн, математичне моделювання для створення концептуальної моделі системи, а також методи порівняльного аналізу для оцінки ефективності запропонованого рішення. Для аналізу даних використовуються програмні засоби моделювання IoT-мереж та блокчейн-платформ.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у створенні інтегрованої моделі системи відстеження товарів, яка поєднує IoT та блокчейн-технології для забезпечення прозорості та надійності логістичних процесів. Розроблена система дозволяє автоматизувати процес моніторингу, зменшити ризики втрат або підробки даних, а також підвищити ефективність управління ланцюгами постачання. Новизною також є обґрунтування підходів до впровадження цих технологій в реальних умовах та оцінка їхнього економічного ефекту.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВІДСТЕЖЕННЯ ТОВАРІВ

1.1. Сучасний стан систем відстеження товарів

Відстеження товарів є ключовим елементом у забезпеченні ефективності та прозорості логістичних процесів, зокрема у сферах торгівлі, транспортування, складського зберігання та дистрибуції. У сучасних умовах глобалізації та зростаючої складності ланцюгів постачання традиційні методи моніторингу товарообігу поступаються новітнім цифровим технологіям. Традиційні системи відстеження товарів базуються на використанні штрихкодів, RFID-технологій (радіочастотної ідентифікації) та GPS. Штрихкоди залишаються одним із найпоширеніших способів ідентифікації товарів завдяки простоті, низькій вартості впровадження та універсальності. Проте їхній основний недолік полягає в необхідності ручного сканування, що уповільнює процеси у великих масштабах. RFID-системи значно зручніші, оскільки дозволяють автоматично зчитувати дані на відстані без прямої видимості. Водночас їх використання обмежується вищими витратами на впровадження, особливо у малих і середніх підприємствах. GPS-трекери широко застосовуються для моніторингу транспортування, забезпечуючи дані про місцезнаходження у реальному часі. Однак вони обмежені здатністю лише до геолокації, що потребує додаткових систем для контролю стану товарів.

Значного прогресу у відстеженні товарів досягнуто завдяки впровадженню Інтернету речей (IoT). IoT об'єднує фізичні об'єкти, обладнані сенсорами, з мережею для збору та обміну даними в реальному часі. Сенсори IoT дозволяють відстежувати не лише місцезнаходження товарів, а й їхній стан, зокрема температуру, вологість, рівень вібрації чи пошкодження під час транспортування. Наприклад, у харчовій промисловості та фармацевтиці IoT забезпечує контроль за умовами зберігання товарів, що є критично важливим для дотримання стандартів безпеки.

Паралельно з розвитком IoT, блокчейн-технологія набуває популярності як засіб забезпечення прозорості та безпеки в системах відстеження товарів. Блокчейн дозволяє створювати незмінний ланцюг даних про рух товарів,

доступний усім учасникам ланцюга постачання. Це особливо актуально для боротьби з підробками, які часто є проблемою у високовартісних або чутливих галузях, таких як фармацевтика, електроніка та предмети розкоші. Завдяки блокчейну кожен запис про рух товару, його стан або операцію стає незмінним і доступним для перевірки, що забезпечує високий рівень довіри між партнерами. Попри значні досягнення, сучасні системи відстеження товарів стикаються з низкою проблем. Зокрема, використання IoT-сенсорів потребує значних інвестицій у впровадження та обслуговування, а також високого рівня інтеграції з існуючими інформаційними системами. Крім того, обробка великого обсягу даних, які генеруються сенсорами, вимагає застосування технологій великих даних (Big Data) та штучного інтелекту (AI). У випадку блокчейну однією з основних проблем є масштабованість мережі та витрати на енергоспоживання при проведенні транзакцій.

Варто зазначити, що сучасні системи відстеження також стикаються з викликами кібербезпеки. Дані про товарообіг мають бути надійно захищені від несанкціонованого доступу, оскільки витік інформації може завдати шкоди бізнесу або порушити конфіденційність клієнтів. З цією метою провідні компанії впроваджують багаторівневі системи захисту даних, включаючи шифрування, аутентифікацію користувачів та регулярний моніторинг кіберзагроз. У підсумку, сучасний стан систем відстеження товарів характеризується переходом від традиційних методів до комплексних цифрових рішень, що поєднують IoT, блокчейн, Big Data та AI. Ці технології дозволяють забезпечити прозорість, швидкість та точність у відстеженні товарів, проте для їх широкого впровадження необхідно вирішити низку технічних, фінансових та безпекових проблем. Розвиток сучасних систем відстеження товарів є багатоаспектним процесом, який потребує врахування не лише технічних, а й економічних та соціальних чинників. Логістичні компанії, виробники, дистриб'ютори та споживачі мають різні потреби та очікування від таких систем, що створює додаткові виклики для їхнього впровадження.

Одним із головних аспектів розвитку є стандартизація даних і протоколів обміну інформацією між учасниками ланцюга постачання. У багатьох випадках компанії використовують різні програмні платформи та обладнання, що ускладнює інтеграцію IoT та блокчейн-рішень. Для подолання цієї проблеми міжнародні організації, такі як GS1, розробляють стандарти для уніфікації ідентифікації товарів, а також обміну даними між учасниками логістичного ланцюга. Економічний аспект включає оптимізацію витрат на впровадження систем відстеження. Незважаючи на високий потенціал IoT і блокчейну, багато компаній, особливо малого та середнього бізнесу, стикаються з труднощами, пов'язаними із високою вартістю цих технологій. Розв'язанням цієї проблеми може стати розвиток хмарних платформ, які дозволяють використовувати технології IoT та блокчейн за принципом «оплати за використання», знижуючи стартові витрати.

Таблиця 1.1

Характеристика сучасних аспектів систем відстеження товарів

Аспект	Характеристика	Приклади застосування
Технологічний	Використання IoT для моніторингу місцезнаходження та стану товарів; блокчейн для забезпечення прозорості даних.	RFID, GPS, блокчейн у логістиці для боротьби з підробками.
Економічний	Висока вартість впровадження технологій; розвиток хмарних платформ для зниження витрат.	Малі підприємства використовують SaaS-платформи для впровадження IoT.
Соціальний	Підвищення довіри споживачів до товарів через прозорість інформації про походження та умови транспортування.	QR-коди на упаковці продуктів для доступу до інформації про товар.

Аспект	Характеристика	Приклади застосування
Екологічний	Оптимізація маршрутів перевезень для зменшення викидів CO ₂ ; забезпечення екологічної відповідності товарів.	Еко-сертифікати, верифіковані блокчейном, у постачанні продуктів.

Соціальний аспект включає підвищення довіри споживачів до товарів і послуг. Системи відстеження, які гарантують прозорість інформації про походження, стан та транспортування товарів, сприяють формуванню довіри між споживачами та виробниками. Наприклад, у сфері харчових продуктів споживачі дедалі частіше вимагають інформації про походження інгредієнтів, умови зберігання та транспортування. Завдяки IoT-сенсорам та блокчейн-рішенням така інформація може бути доступною через QR-код на упаковці.

Окрему увагу слід приділити екологічному аспекту систем відстеження товарів. Використання IoT дозволяє оптимізувати транспортні маршрути, знижуючи витрати палива та викиди CO₂, а блокчейн може допомогти у створенні «зелених» логістичних ланцюгів, що відображають екологічні ініціативи компаній. Наприклад, верифікація еко-сертифікатів товарів через блокчейн запобігає фальсифікації та сприяє відповідальному споживанню.

Таким чином, сучасний стан систем відстеження товарів свідчить про значний прогрес у використанні інноваційних технологій. Проте подальший розвиток потребує вирішення питань стандартизації, зниження вартості впровадження, посилення кібербезпеки та забезпечення екологічної стійкості. Усі ці аспекти формують основу для створення інтегрованих рішень, які не лише підвищують ефективність логістичних процесів, але й сприятимуть сталому розвитку суспільства.

1.2. Технологія Інтернету речей (IoT): принципи роботи та перспективи використання

Інтернет речей (IoT) — це концепція, яка об'єднує фізичні об'єкти, обладнані датчиками, програмним забезпеченням, та засобами зв'язку, що дозволяє їм взаємодіяти між собою, зберігати та передавати дані через мережу Інтернет. Головна мета IoT полягає у створенні інтелектуальної екосистеми, де пристрої можуть автономно обмінюватися інформацією, аналізувати її та виконувати завдання без участі людини. Принципи роботи IoT базуються на трьох ключових елементах: фізичних пристроях, мережах передачі даних та хмарних платформах для зберігання та аналізу даних. Фізичні пристрої або об'єкти, які є частиною IoT, оснащуються датчиками, що дозволяють збирати інформацію про навколишнє середовище, наприклад, температуру, вологість, рівень освітленості, місцезнаходження чи стан пристрою. Ці дані передаються через різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee чи мобільні мережі, до серверів чи хмарних платформ, де вони зберігаються, обробляються та аналізуються.

Хмарні платформи відіграють важливу роль у функціонуванні IoT. Вони забезпечують зберігання великого обсягу даних, які надходять від пристроїв, і їх подальшу обробку за допомогою алгоритмів штучного інтелекту чи методів машинного навчання. Це дозволяє генерувати корисну інформацію, на основі якої пристрої можуть приймати рішення або інформувати користувачів про стан певних об'єктів чи процесів. Наприклад, інтелектуальні термостати можуть автоматично регулювати температуру в приміщенні, аналізуючи умови довкілля та уподобання користувача. Перспективи використання IoT є надзвичайно широкими та охоплюють майже всі галузі діяльності людини. В індустрії IoT забезпечує автоматизацію виробничих процесів, моніторинг обладнання в реальному часі та підвищення продуктивності. Наприклад, в сільському господарстві IoT використовується для точного землеробства, коли датчики вимірюють стан ґрунту та погодні умови, що дозволяє оптимізувати витрати води, добрив та енергії.

У міському середовищі IoT сприяє створенню розумних міст, де інтегровані системи забезпечують управління дорожнім рухом, громадським транспортом, системами освітлення та комунальними послугами. Наприклад, інтелектуальні датчики можуть повідомляти про наявність вільних паркувальних місць, оптимізуючи потік транспорту. У сфері охорони здоров'я IoT дозволяє використовувати носимі пристрої для моніторингу стану здоров'я пацієнтів, передавання медичних даних у реальному часі та автоматизації діагностичних процесів.

Однією з головних переваг IoT є його здатність забезпечувати оперативний доступ до інформації та автоматизацію рутинних завдань. Це знижує витрати часу та ресурсів, підвищуючи ефективність різних процесів. Крім того, IoT сприяє прийняттю рішень на основі даних, що є важливим у бізнесі та управлінні. Наприклад, аналіз зібраної інформації може виявляти потенційні проблеми в обладнанні до їхнього виникнення, зменшуючи ризик поломок. Однак широке впровадження IoT стикається з низкою викликів. Перш за все, це питання кібербезпеки, адже збір та передача даних від мільярдів пристроїв створюють значні ризики витоку інформації чи несанкціонованого доступу. Іншою проблемою є масштабованість IoT-мереж, оскільки обробка великого обсягу даних потребує потужних обчислювальних ресурсів. Важливим також є питання стандартизації протоколів та сумісності різних пристроїв, що ускладнює їхню інтеграцію.

Перспективи використання IoT у майбутньому включають розширення автономних систем, інтеграцію з технологіями штучного інтелекту та розвиток екологічно сталих рішень. Зокрема, IoT відіграватиме ключову роль у переході до концепції Індустрії 4.0, яка передбачає повну автоматизацію виробничих процесів, створення «розумних» фабрик та підвищення екологічної відповідальності підприємств. Інтернет речей продовжує трансформувати способи, якими функціонує сучасний світ, стаючи основою цифрової економіки. Його інтеграція з іншими передовими технологіями, такими як блокчейн,

штучний інтелект і великі дані, відкриває нові горизонти для розвитку та інновацій.

Одним із ключових напрямів розвитку IoT є створення взаємопов'язаних систем, здатних не лише збирати та передавати дані, але й автономно приймати рішення. Наприклад, у логістиці інтелектуальні системи можуть оптимізувати маршрути доставки, базуючись на поточних умовах дорожнього руху, погоди чи стану транспорту. Такі рішення дозволяють значно скоротити витрати, покращити обслуговування клієнтів і знизити вплив на довкілля. У сфері енергетики IoT активно впроваджується для розвитку розумних енергомереж. Ці мережі здатні в режимі реального часу регулювати споживання та розподіл енергії, враховуючи попит, пропозицію та умови навколишнього середовища. Розумні лічильники дозволяють не лише споживачам відстежувати витрати електроенергії, але й операторам енергосистем миттєво реагувати на зміни у споживанні. Такий підхід є важливим кроком у напрямку підвищення енергоефективності та впровадження відновлюваних джерел енергії.

Значний потенціал IoT також спостерігається у сільському господарстві, де технології дозволяють мінімізувати витрати ресурсів та підвищувати врожайність. Інтелектуальні системи можуть відстежувати стан ґрунту, погодні умови та стан рослинності, автоматично регулюючи полив, внесення добрив та боротьбу зі шкідниками. Це особливо важливо в умовах кліматичних змін і необхідності забезпечення продовольчої безпеки.

У міському середовищі впровадження IoT сприяє створенню більш комфортних і безпечних умов для життя. Технології використовуються для моніторингу стану інфраструктури, наприклад, мостів, доріг та водопровідних мереж, що дозволяє своєчасно виявляти пошкодження або загрози. Крім того, IoT забезпечує ефективне управління ресурсами, такими як вода, електроенергія та відходи, що сприяє зниженню навантаження на екосистему та підтриманню сталого розвитку міст. Водночас розвиток IoT вимагає вирішення низки проблем, зокрема пов'язаних із конфіденційністю даних. Масштабний збір інформації потребує високого рівня захисту від кібератак, що є критичним у сферах, де дані

мають конфіденційний характер, наприклад, у фінансових або медичних системах. Також необхідно вдосконалювати нормативну базу, яка регулює використання IoT, щоб забезпечити стандартизацію та захист прав користувачів.

Майбутнє IoT також пов'язане із впровадженням технологій 5G, які забезпечать швидшу та стабільнішу передачу даних, що сприятиме розширенню мережі підключених пристроїв. Висока пропускна здатність 5G дозволить інтегрувати більшу кількість об'єктів до IoT-екосистеми, підвищуючи її ефективність і функціональність.

Таблиця 1.2

Використання IoT у різних напрямках

Напрямок використання	Можливості IoT	Приклади
Логістика	Оптимізація маршрутів, моніторинг стану транспорту, автоматизація складів.	IoT-сенсори для відстеження товарів у реальному часі.
Енергетика	Розумні енергомережі, автоматичне регулювання споживання енергії.	Інтелектуальні лічильники для енергосистем.
Сільське господарство	Моніторинг стану ґрунту та рослин, автоматизація поливу та внесення добрив.	Системи точного землеробства з датчиками вологи.
Міське середовище	Моніторинг інфраструктури, управління ресурсами, моніторинг стану навколишнього середовища.	Інтелектуальні системи управління дорожнім рухом та паркуванням.

Загалом Інтернет речей є не лише технологією, але й стратегічним інструментом для вирішення багатьох глобальних проблем, таких як енергоефективність, управління ресурсами та зміцнення економіки. Його

подальший розвиток вимагає міждисциплінарного підходу, об'єднуючи зусилля технічних, економічних та соціальних фахівців для максимального використання його потенціалу.

1.3. Застосування блокчейн у відстеженні товарів: огляд технології та переваги

Блокчейн є однією з найбільш революційних технологій сучасності, яка знаходить широке застосування у відстеженні товарів. Це розподілена база даних, що функціонує як незмінний цифровий реєстр, у якому зберігається інформація про всі транзакції та дії, пов'язані з товаром. Особливістю блокчейну є його здатність забезпечувати прозорість, достовірність і незмінність даних, що є ключовими вимогами у сучасних логістичних ланцюгах постачання. Принцип роботи блокчейну базується на децентралізації, де інформація зберігається одночасно на багатьох вузлах мережі. Кожен блок даних містить хронологічний запис про транзакції, які підтверджуються і додаються до ланцюга лише після консенсусу між учасниками мережі. Це робить технологію стійкою до несанкціонованих змін, адже для модифікації хоча б одного блоку потрібно змінити всі наступні блоки у всіх копіях реєстру. Таким чином, блокчейн гарантує достовірність збереженої інформації.

У сфері відстеження товарів блокчейн дозволяє створювати безпечний і прозорий ланцюг даних про переміщення товарів. Наприклад, кожен етап виробництва, транспортування, зберігання чи продажу може бути зафіксований у блокчейні. Усі ці записи є доступними для учасників мережі, але водночас захищеними від несанкціонованого доступу завдяки використанню криптографічних алгоритмів. Це особливо важливо для боротьби з фальсифікаціями та забезпечення відповідності стандартам якості.

Однією з ключових переваг використання блокчейну у відстеженні товарів є прозорість. Кожен учасник ланцюга постачання, від виробника до кінцевого споживача, може отримати доступ до інформації про товар, включаючи його походження, умови транспортування та зберігання. Це особливо важливо для

харчової промисловості, фармацевтики та інших галузей, де якість і безпека продукції є критично важливими. Наприклад, споживач може перевірити справжність органічних продуктів або ліків, скануючи QR-код, який веде до даних у блокчейні.

Ще однією перевагою є підвищення ефективності операцій. Завдяки автоматизації процесів перевірки, блокчейн дозволяє скоротити час і витрати на аудит та обробку даних. Наприклад, використання смарт-контрактів, які є програмованими протоколами, дозволяє автоматично виконувати угоди між сторонами за умови виконання попередньо встановлених умов. Це може включати, наприклад, автоматичну оплату за товар після його доставки до визначеного місця. Безпека також є важливою перевагою блокчейну. У традиційних системах дані про товарообіг можуть бути змінені або втрачені через людський фактор чи зловмисні дії. Блокчейн забезпечує незмінність даних, що дозволяє уникнути шахрайства, а також спрощує процес розслідування можливих інцидентів. Наприклад, якщо виникає проблема із товаром, блокчейн дозволяє швидко визначити її джерело, відстежуючи всі попередні етапи ланцюга постачання. Блокчейн також сприяє зміцненню довіри між учасниками ланцюга постачання. Оскільки всі транзакції є відкритими та підтвердженими, кожен учасник може бути впевнений у достовірності даних. Це дозволяє покращити співпрацю між партнерами, зменшуючи ризик суперечок та конфліктів.

Перспективи використання блокчейну у відстеженні товарів охоплюють інтеграцію з іншими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT). Наприклад, датчики IoT можуть автоматично збирати дані про умови транспортування, які потім зберігаються у блокчейні. Це дозволяє створити комплексну систему моніторингу, яка забезпечує ще вищий рівень прозорості та точності. Однак слід зазначити, що впровадження блокчейну потребує значних інвестицій та адаптації бізнес-процесів. Незважаючи на переваги, багато компаній зіштовхуються з проблемами масштабування мереж, високими енергетичними витратами та необхідністю навчання персоналу для роботи з новою технологією. Утім, ці виклики поступово вирішуються завдяки розвитку нових протоколів, таких як

блокчейни з низьким енергоспоживанням, та появі послуг на основі блокчейну, які спрощують його інтеграцію.

Загалом, блокчейн є перспективною технологією для відстеження товарів, яка сприяє прозорості, ефективності та безпеці в ланцюгах постачання. Його інтеграція з іншими цифровими рішеннями дозволяє підвищити якість управління процесами, водночас мінімізуючи ризики та витрати. У майбутньому блокчейн матиме вирішальне значення для глобальної логістики, створюючи нові стандарти для ведення бізнесу. Блокчейн-технологія також відкриває нові можливості для стандартизації процесів відстеження товарів на глобальному рівні. Універсальний підхід до запису та зберігання даних дозволяє компаніям співпрацювати через єдині протоколи, незалежно від їхнього місцезнаходження чи галузі. Наприклад, використання спільного блокчейн-реєстру дозволяє імпортерам, експортерам, митним органам та споживачам отримувати достовірну інформацію про товар, його сертифікати відповідності та маршрути транспортування.

Системи на основі блокчейну також мають великий потенціал у боротьбі з підробками, що є особливо важливим для таких галузей, як фармацевтика, автомобільна промисловість і мода. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), до 10% лікарських засобів, що продаються у світі, є підробленими. Завдяки блокчейну кожен препарат може мати унікальний запис, що включає інформацію про виробника, дату виготовлення, умови транспортування та реалізацію. Це дозволяє миттєво перевіряти справжність продукції та відслідковувати будь-які аномалії.

У галузі харчової промисловості блокчейн може допомогти забезпечити безпеку харчових продуктів. У разі виявлення дефектного або небезпечного продукту система дозволяє швидко ідентифікувати його джерело та відкликати товар з ринку. Такий підхід значно зменшує масштаби збитків, забезпечуючи захист споживачів та репутації компаній. Наприклад, мережа супермаркетів Walmart вже використовує блокчейн для моніторингу поставок фруктів і овочів,

скорочуючи час відстеження походження продукції з кількох днів до кількох секунд.

Інтеграція блокчейну з технологіями штучного інтелекту (ШІ) та аналітики великих даних відкриває ще більші перспективи для відстеження товарів. ШІ може аналізувати дані з блокчейну для виявлення закономірностей, прогнозування попиту чи ідентифікації ризиків у ланцюзі постачання. Наприклад, поєднання блокчейну з аналітикою дозволяє прогнозувати затримки у доставці або виявляти потенційні проблеми в постачанні ще до їхнього виникнення. Це сприяє прийняттю обґрунтованих рішень та мінімізації втрат.

Однією з важливих переваг блокчейну є його здатність адаптуватися до нових вимог ринку. Наприклад, у відповідь на зростання екологічної свідомості споживачів компанії можуть використовувати блокчейн для підтвердження екологічності своєї продукції. Дані про походження сировини, вуглецевий слід виробництва та умови утилізації продуктів можуть бути прозоро представлені у реєстрі, сприяючи підвищенню довіри до бренду.

Таблиця 1.3

Переваги використання блокчейну у різних галузях

Галузь	Переваги використання блокчейну	Приклади застосування
Фармацевтика	Перевірка справжності ліків, відстеження умов транспортування, боротьба з підробками.	Використання QR-кодів для перевірки справжності препаратів.
Харчова промисловість	Забезпечення безпеки продуктів, швидка ідентифікація джерела проблемного товару, підвищення довіри споживачів.	Система моніторингу постачання свіжих фруктів у мережі Walmart.

Галузь	Переваги використання блокчейну	Приклади застосування
Мода	Відстеження походження сировини, підтвердження автентичності брендових товарів.	Відстеження ланцюга поставок матеріалів для брендових одягу.
Логістика	Прозорість у ланцюгах постачання, автоматизація процесів перевірки, скорочення часу на аудит.	Розробка розподілених реєстрів для відстеження міжнародних перевезень.

Однак для досягнення повного потенціалу блокчейну потрібна тісна співпраця між бізнесом, урядами та міжнародними організаціями. Уряди можуть стимулювати використання блокчейну через створення нормативної бази, що регулює зберігання, передачу та захист даних. Наприклад, впровадження єдиних стандартів для смарт-контрактів дозволить спростити їх застосування у різних країнах і галузях. У перспективі розвиток блокчейну в поєднанні з технологіями IoT, 5G та ШІ створить основу для формування нового типу економіки, де прозорість і довіра стануть ключовими факторами. Ці технології дадуть змогу автоматизувати значну частину логістичних і адміністративних процесів, звільняючи ресурси для інноваційного розвитку. Таким чином, блокчейн не лише трансформує сучасні системи відстеження товарів, але й задає нові стандарти для управління ланцюгами постачання, підвищуючи їхню ефективність, прозорість та безпеку. Його подальше впровадження сприятиме створенню сталих бізнес-моделей, що відповідають викликам цифрової епохи.

1.4. Аналіз сучасних платформ і систем відстеження

Сучасні платформи та системи відстеження товарів являють собою комплексні рішення, які поєднують у собі різні технології, такі як Інтернет речей (IoT), блокчейн, великі дані та хмарні обчислення. Їхнє завдання полягає у забезпеченні прозорості, оперативності й надійності логістичних операцій, що

стає все більш актуальним в умовах глобалізації та зростання обсягів міжнародної торгівлі. Одним із ключових елементів сучасних систем є IoT-платформи, які використовуються для збору даних у реальному часі. Вони забезпечують підключення фізичних пристроїв, таких як датчики, GPS-трекери та RFID-мітки, до цифрової мережі. Зібрані дані включають інформацію про місцезнаходження, температуру, вологість, рівень вібрації та інші параметри, які є критично важливими для моніторингу товарів, особливо у чутливих галузях, таких як фармацевтика чи харчова промисловість. Ці дані передаються до централізованих або децентралізованих систем для подальшої обробки.

Використання хмарних платформ є ще однією важливою складовою систем відстеження. Хмарні технології дозволяють зберігати великі обсяги даних і забезпечувати до них доступ для всіх зацікавлених сторін у режимі реального часу. Наприклад, платформи Amazon Web Services (AWS) або Microsoft Azure пропонують інструменти для інтеграції IoT-пристроїв та аналізу даних, що робить їх популярними серед великих корпорацій. Такі системи дозволяють створювати індивідуальні рішення, адаптовані до конкретних потреб бізнесу.

Блокчейн-технологія стала значним проривом у сучасних платформах відстеження товарів. Її головною перевагою є створення незмінного реєстру транзакцій, доступного для всіх учасників ланцюга постачання. Це дозволяє забезпечити високу довіру до системи, знизити ризики шахрайства та покращити прозорість. Серед платформ, які активно використовують блокчейн, можна виділити IBM Food Trust, що забезпечує відстеження харчових продуктів, та TradeLens, яка спеціалізується на логістиці морських перевезень. Ці системи використовують смарт-контракти для автоматизації процесів, таких як оформлення митних документів чи оплата після доставки товарів.

Ще однією категорією сучасних систем є аналітичні платформи, які застосовують великі дані (Big Data) для виявлення закономірностей, прогнозування та оптимізації логістичних процесів. Наприклад, платформи типу SAP Leonardo або Oracle IoT Cloud пропонують функціонал для аналізу даних, який допомагає прогнозувати можливі затримки, ідентифікувати ризики чи

виявляти оптимальні маршрути транспортування. Це дозволяє компаніям приймати обґрунтовані рішення, що мінімізують витрати та підвищують ефективність. Серед програмних рішень для малого та середнього бізнесу популярними є SaaS-платформи, такі як TrackTraceRx чи ShipChain. Вони забезпечують доступ до базових функцій відстеження товарів без необхідності великих інвестицій у інфраструктуру. Завдяки простоті використання такі системи активно впроваджуються у малих логістичних компаніях, які прагнуть автоматизувати свої процеси.

Одним із викликів для сучасних систем відстеження є їх інтеграція з уже існуючими бізнес-процесами. Багато компаній використовують власні ERP-системи, і підключення платформ відстеження до них вимагає значних зусиль. Для вирішення цієї проблеми провідні постачальники пропонують API, які спрощують інтеграцію та забезпечують сумісність різних систем.

З точки зору перспектив, розвиток систем відстеження товарів буде зосереджено на інтеграції технологій 5G, що дозволить значно покращити швидкість передачі даних і підключення великої кількості пристроїв. Крім того, зростатиме роль штучного інтелекту в аналізі даних, що дозволить передбачати попит і забезпечувати проактивний підхід до управління ланцюгами постачання.

Таким чином, сучасні платформи та системи відстеження є багатофункціональними інструментами, що значно підвищують ефективність логістичних процесів. Вони дозволяють автоматизувати рутинні завдання, зменшувати витрати та підвищувати рівень обслуговування клієнтів, залишаючись водночас адаптивними до нових викликів і потреб ринку. Подальший розвиток платформ і систем відстеження товарів визначатиметься інноваціями, спрямованими на вирішення існуючих викликів та задоволення зростаючих потреб бізнесу й споживачів. Одним із ключових напрямів є вдосконалення інтероперабельності між різними платформами. Сьогодні багато компаній використовують розрізнені системи, що ускладнює обмін даними між учасниками ланцюга постачання. Розробка уніфікованих стандартів та протоколів обміну даними може суттєво спростити інтеграцію різних систем і

підвищити їхню ефективність. Важливим трендом є також зростання ролі кібербезпеки. У міру того як обсяг зібраних і переданих даних збільшується, ризик кібератак і несанкціонованого доступу до інформації стає серйозною загрозою. Технології, такі як шифрування даних, багатофакторна аутентифікація та регулярний моніторинг систем, дедалі більше впроваджуються в сучасні платформи. Блокчейн у цьому контексті відіграє особливу роль, забезпечуючи незмінність і прозорість даних. Перспективним напрямом є розширення функціоналу систем відстеження через використання доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR). Наприклад, платформи можуть надавати візуалізацію всього ланцюга постачання у вигляді інтерактивних карт або 3D-моделей, що спрощує управління складними процесами та підвищує доступність інформації для прийняття рішень.

Таблиця 1.4

Ключові напрями розвитку платформ і систем відстеження

Ключовий напрям розвитку	Опис	Приклади застосування
Інтероперабельність систем	Розробка стандартів і протоколів для спрощення інтеграції різних платформ.	Уніфіковані API для інтеграції ERP-систем із платформами відстеження.
Кібербезпека	Впровадження шифрування, багатофакторної аутентифікації та моніторингу.	Блокчейн-реєстри для забезпечення незмінності даних.
Доповнена та віртуальна реальність	Візуалізація ланцюгів постачання через інтерактивні карти та 3D-моделі.	AR-інструменти для управління логістикою в реальному часі.
Міжнародні ланцюги постачання	Автоматизація документів і врахування юридичних вимог різних країн.	TradeLens для автоматизації митних операцій.

Ключовий напрям розвитку	Опис	Приклади застосування
Сталий розвиток	Аналіз вуглецевого сліду та рекомендації екологічно відповідальних рішень.	Розрахунок маршрутів із мінімальними викидами CO ₂ .
Штучний інтелект	Проактивне управління ризиками та прогнозування затримок доставки.	ШІ для прогнозування затримок у доставці.
Економічна доступність	Моделі оплати за використання для підвищення доступності платформ.	TrackTraceRx для малого та середнього бізнесу.

В умовах глобалізації актуальною стає підтримка міжнародних ланцюгів постачання. Сучасні платформи розвиваються у напрямі врахування різних юридичних і митних вимог, які діють у різних країнах. Це дозволяє автоматизувати оформлення документів, прискорювати проходження митниці та мінімізувати людський фактор у процесах міжнародної логістики.

Іншим важливим аспектом є адаптація платформ до вимог сталого розвитку. Сучасні споживачі та регулятори все більше звертають увагу на екологічну складову логістичних процесів. Системи відстеження інтегрують функції аналізу вуглецевого сліду, енергоспоживання та відповідності екологічним стандартам. Наприклад, платформи можуть рекомендувати маршрути транспортування з найменшим впливом на довкілля або ідентифікувати екологічно відповідальних постачальників.

У технологічному аспекті значну роль у майбутньому відіграватиме розвиток систем із застосуванням штучного інтелекту (ШІ). ШІ дозволить платформам не лише аналізувати історичні дані, але й передбачати можливі проблеми, такі як затримки доставки або поломки обладнання. Проактивний підхід до управління стане важливою конкурентною перевагою для компаній, які використовують сучасні системи відстеження. З погляду економічної доступності, розвиватимуться рішення на основі моделі «оплата за

використання» (Pay-as-you-go). Це дозволить навіть малим підприємствам використовувати потужні платформи відстеження без значних інвестицій у їхню інфраструктуру. Такі моделі також сприятимуть швидшому впровадженню інновацій у малих і середніх компаніях.

Загалом, сучасні платформи й системи відстеження еволюціонують у бік підвищення доступності, прозорості, інтегрованості та екологічної відповідальності. Вони стають основою для цифровізації ланцюгів постачання та забезпечують новий рівень ефективності у глобальній економіці. У найближчому майбутньому ці системи не лише адаптуватимуться до змін ринку, але й самі формуватимуть нові стандарти для бізнес-процесів.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ІОТ ТА БЛОКЧЕЙН

2.1. Архітектура системи: взаємодія IoT і блокчейн

Архітектура системи відстеження на основі IoT та блокчейн являє собою інтегровану модель, яка поєднує фізичні пристрої, мережі передачі даних, сервери для зберігання інформації та блокчейн як основу для забезпечення прозорості, достовірності та безпеки даних. Основною метою такої системи є забезпечення автоматичного збору, обробки та перевірки інформації про товари на всіх етапах їхнього життєвого циклу, починаючи від виробництва і закінчуючи доставкою кінцевому споживачеві. IoT-компоненти виступають як інструменти збору даних у реальному часі. Ці компоненти включають датчики, GPS-трекери, RFID-мітки та інші пристрої, які фіксують параметри товарів, такі як місцезнаходження, температура, вологість, рівень вібрації або фізичний стан. Наприклад, у харчовій промисловості датчики IoT можуть забезпечувати контроль температури під час транспортування для дотримання умов зберігання. Усі ці дані передаються через мережі зв'язку, такі як Wi-Fi, 4G/5G або LoRaWAN, до централізованого чи децентралізованого сховища.

Блокчейн виступає ключовим елементом для забезпечення достовірності та прозорості даних. Кожна транзакція або дія, пов'язана з товаром, записується в блокчейн у вигляді незмінного запису. Наприклад, запис може містити інформацію про зміну місцезнаходження товару, передачу його між учасниками ланцюга постачання або результати перевірки умов зберігання. Завдяки використанню децентралізованого реєстру всі записи є доступними для учасників системи, що дозволяє виключити можливість шахрайства чи несанкціонованої зміни інформації.

Архітектура інтегрованої системи включає кілька основних рівнів. На першому рівні розташовані фізичні пристрої IoT, які збирають дані. Вони взаємодіють із шлюзами передачі даних, які виконують функцію передачі інформації до наступного рівня. Шлюзи, своєю чергою, підключені до хмарної

інфраструктури або локальних серверів, де відбувається початкова обробка, агрегація та аналіз даних.

Наступний рівень архітектури представлений блокчейн-платформою, яка інтегрується з IoT-системою через API. Дані, зібрані IoT-пристроями, спочатку перевіряються на достовірність, а потім записуються у блокчейн. Це забезпечує їхню незмінність і дозволяє створити хронологічний ланцюг дій, який легко перевірити. Використання смарт-контрактів, що є програмованими інструкціями у блокчейні, дозволяє автоматизувати багато процесів, таких як оплата за доставку після підтвердження доставки товару або створення звітів для учасників системи.

Крім того, архітектура передбачає рівень взаємодії з користувачем. Це можуть бути мобільні додатки, веб-інтерфейси або спеціалізовані програмні інструменти, які надають доступ до інформації про товар у реальному часі. Наприклад, кінцевий споживач може перевірити автентичність товару або його походження, скануючи QR-код, який веде до записів у блокчейні.

Однією з головних переваг такої архітектури є забезпечення безпеки даних. Завдяки тому, що дані зберігаються в децентралізованому реєстрі, відсутня єдина точка відмови, яка могла б стати об'єктом атаки. Криптографічні методи забезпечують конфіденційність і цілісність даних, а децентралізація виключає можливість несанкціонованої модифікації записів.

Ще одним важливим аспектом є масштабованість системи. Використання IoT дозволяє підключати велику кількість пристроїв, тоді як блокчейн забезпечує стійкість до зростаючого обсягу даних. Наприклад, у великих логістичних мережах, які включають тисячі точок зберігання та перевезень, така система дозволяє зберігати інформацію про кожен етап транспортування та умови зберігання.

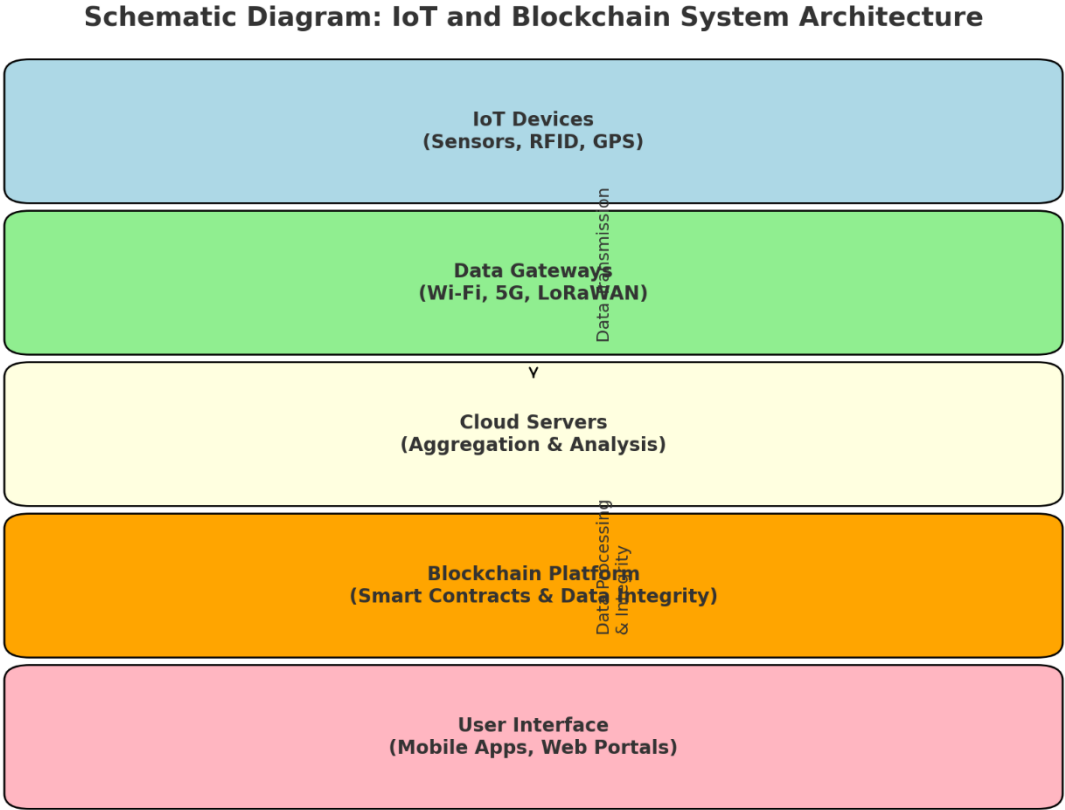


Рис.2.1 Діаграма архітектури

Таким чином, архітектура системи, яка поєднує IoT та блокчейн, забезпечує високу прозорість, безпеку та ефективність у відстеженні товарів. Інтеграція цих технологій дозволяє створити універсальне рішення, яке підходить для багатьох галузей, включаючи логістику, фармацевтику, харчову промисловість та інші сфери. Це сприяє покращенню управління ланцюгами постачання, зниженню витрат і підвищенню довіри між учасниками ринку.

2.2. Технічні вимоги до розробки системи

Розробка системи відстеження товарів на основі IoT та блокчейн вимагає врахування кількох важливих технічних аспектів, які забезпечують її ефективність, надійність і масштабованість. Технічні вимоги охоплюють усі рівні архітектури, від фізичних пристроїв до програмного забезпечення та інфраструктури. Фізичний рівень включає вимоги до IoT-пристроїв, які будуть

збирати дані. Вони повинні бути енергоефективними, мати достатню автономність та відповідати специфіці умов експлуатації. Наприклад, датчики для харчової промисловості мають бути стійкими до впливу низьких температур і вологості. GPS-трекери повинні забезпечувати точність позиціонування з похибкою не більше кількох метрів. Також важливо, щоб пристрої підтримували стандартні протоколи зв'язку, такі як Zigbee, LoRaWAN, Wi-Fi або Bluetooth, для інтеграції з системою.

Комунікаційний рівень вимагає високошвидкісного і стабільного зв'язку між IoT-пристроями та серверною інфраструктурою. Використання мереж 4G/5G є оптимальним для забезпечення передачі даних у реальному часі, особливо для систем із високою частотою оновлення даних. У випадку віддалених зон, де мобільний зв'язок може бути обмеженим, слід передбачити альтернативні рішення, наприклад, супутниковий зв'язок або технологію LoRaWAN. Серверна інфраструктура повинна бути масштабованою та готовою до обробки великого обсягу даних. Хмарні сервіси, такі як AWS, Google Cloud або Microsoft Azure, надають необхідну гнучкість і продуктивність. Інфраструктура повинна включати засоби для попередньої обробки даних, такі як фільтрація шумів, перевірка достовірності та агрегація. Крім того, важливо передбачити резервне копіювання та можливість швидкого відновлення у випадку збою.

Блокчейн-рівень має забезпечувати безпеку, прозорість і незмінність даних. Для цього необхідно використовувати надійну платформу, таку як Ethereum, Hyperledger або Binance Smart Chain. Вибір платформи залежить від вимог до пропускної здатності, енергоспоживання та вартості транзакцій. Наприклад, приватні блокчейни на основі Hyperledger можуть бути більш підходящими для корпоративного використання завдяки високій продуктивності та низьким витратам на підтримку. Система повинна підтримувати смарт-контракти для автоматизації операцій, таких як підтвердження доставки або оплата за послуги.

Програмний рівень включає вимоги до користувацьких додатків та інтерфейсів. Мобільні та веб-додатки повинні забезпечувати інтуїтивно зрозумілий доступ до інформації про товар у реальному часі. Інтерфейс повинен

включати функції пошуку, візуалізації ланцюга постачання, отримання повідомлень про стан товару та створення звітів. Додатки повинні бути сумісними з основними операційними системами, такими як Android, iOS та Windows.

Кібербезпека є критично важливим аспектом системи. Усі дані повинні бути зашифровані під час передачі та зберігання. Аутентифікація користувачів має здійснюватися з використанням багатофакторної перевірки, а доступ до критично важливих функцій системи повинен бути обмеженим відповідно до ролей користувачів. Крім того, блокчейн повинен використовувати криптографічні механізми для забезпечення цілісності даних. Масштабованість системи є ще однією важливою вимогою. Система повинна мати можливість додавати нові пристрої та розширювати функціонал без значних збоїв чи витрат. Це особливо актуально для компаній із швидко зростаючими обсягами логістичних операцій.

Енергоефективність є важливим технічним критерієм, особливо для IoT-пристроїв. Більшість сенсорів працює на батарейках, тому їхня автономність має бути максимальною. Для цього можна використовувати технології з низьким енергоспоживанням, такі як LoRaWAN або BLE (Bluetooth Low Energy). Таким чином, технічні вимоги до розробки системи включають комплекс заходів, спрямованих на забезпечення її надійності, продуктивності, безпеки та зручності використання. Урахування цих вимог дозволить створити систему, яка відповідатиме сучасним викликам та забезпечуватиме ефективність і прозорість у відстеженні товарів. Окрім зазначених технічних вимог, слід враховувати аспекти інтеграції системи з існуючою інфраструктурою підприємств та забезпечення її адаптивності до майбутніх технологічних змін.

Інтеграція з ERP-системами є ключовим етапом впровадження системи відстеження. Багато підприємств вже використовують системи управління ресурсами (ERP), такі як SAP, Oracle або Microsoft Dynamics. Нова система повинна забезпечувати безшовну інтеграцію з такими платформами, дозволяючи автоматично синхронізувати дані про товари, склади, замовлення та

транспортування. Це вимагає розробки API для обміну даними, які будуть відповідати галузевим стандартам.

Підтримка модульної структури є важливою для забезпечення гнучкості системи. Модульний підхід дозволяє додавати або змінювати окремі компоненти без необхідності переробки всієї системи. Наприклад, модуль для обробки даних IoT може бути оновлений чи замінений новим без впливу на функціонування блокчейн-платформи чи користувацьких інтерфейсів.

Відповідність міжнародним стандартам є необхідною для забезпечення юридичної та технічної сумісності з різними регіонами та галузями. Система повинна відповідати стандартам ISO, що стосуються управління інформаційною безпекою (ISO/IEC 27001), управління ланцюгами постачання (ISO 28000) та якості даних (ISO 8000). Крім того, у разі роботи з персональними даними, система має відповідати регламенту GDPR для захисту конфіденційності користувачів.

Моніторинг і технічна підтримка є важливими для забезпечення стабільної роботи системи. Інфраструктура повинна мати засоби для постійного моніторингу стану пристроїв IoT, серверів та мережі. У разі виявлення збоїв або порушень система має автоматично генерувати сповіщення для відповідних фахівців. Також важливо забезпечити оперативну технічну підтримку користувачів через багатоканальні сервіси, включаючи чат-боти, телефонні гарячі лінії та електронну пошту. Тестування і валідація системи є завершальним етапом перед її впровадженням. Всі компоненти повинні пройти ретельне тестування на відповідність технічним вимогам, зокрема перевірку точності даних, швидкості обробки, надійності з'єднання та безпеки. Валідація системи включає тестування в реальних умовах, щоб переконатися, що всі функції працюють коректно і відповідають бізнес-потреbam.

Екологічність і стійкість також є важливими аспектами сучасних технологічних рішень. Використання пристроїв із низьким споживанням енергії та оптимізація логістичних процесів для зниження вуглецевого сліду є ключовими вимогами до системи. Впровадження цих аспектів дозволяє не тільки

зменшити витрати, але й підвищити екологічну репутацію компанії. Розробка стратегії впровадження включає поступове розгортання системи, починаючи з пілотного проєкту на окремій ділянці ланцюга постачання. Це дозволяє оцінити ефективність системи, виявити потенційні проблеми та оптимізувати процеси перед масштабним впровадженням. На основі результатів пілотного проєкту можна внести корективи в технічні характеристики або функціонал системи.

Таблиця 2.1.

Технічні вимоги до розробки системи відстеження

Категорія технічних вимог	Опис	Приклади реалізації
Фізичний рівень	Енергоефективні IoT-пристрої з підтримкою стандартних протоколів зв'язку (Zigbee, LoRaWAN, Wi-Fi).	Датчики температури для контролю умов транспортування.
Комунікаційний рівень	Стабільний високошвидкісний зв'язок через 4G/5G або альтернативи для віддалених зон.	LoRaWAN для передачі даних у віддалених регіонах.
Серверна інфраструктура	Масштабована хмарна інфраструктура для обробки великих обсягів даних, резервне копіювання.	Використання AWS для обробки і зберігання даних IoT.
Блокчейн-рівень	Надійна блокчейн-платформа для прозорості даних, підтримка смарт-контрактів.	Hyperledger для корпоративного використання блокчейну.
Програмний рівень	Інтуїтивно зрозумілі мобільні та веб-додатки для користувачів, сумісні з основними ОС.	Додатки для відстеження товарів у реальному часі.

Категорія технічних вимог	Опис	Приклади реалізації
Кібербезпека	Шифрування даних, багатофакторна аутентифікація, контроль доступу.	SSL/TLS для захищеного зв'язку, блокчейн для незмінності записів.
Масштабованість	Можливість додавання нових пристроїв і розширення функціоналу.	API для інтеграції нових пристроїв у систему.
Енергоефективність	Пристрої з низьким енергоспоживанням для тривалої автономної роботи.	BLE (Bluetooth Low Energy) для зниження споживання енергії.

Врахування всіх зазначених аспектів забезпечить створення інноваційної, гнучкої та надійної системи відстеження, яка відповідатиме вимогам сучасного ринку, сприятиме підвищенню ефективності логістичних процесів і стане основою для подальшого розвитку цифрової інфраструктури підприємств.

2.3. Алгоритм функціонування системи

Алгоритм функціонування системи відстеження на основі IoT та блокчейну включає кілька послідовних етапів, які забезпечують збір, обробку, зберігання та аналіз даних у реальному часі. Цей процес орієнтований на створення прозорої, безпечної та автоматизованої системи управління логістичними операціями. На першому етапі IoT-пристрої, такі як датчики, GPS-трекери або RFID-мітки, фіксують ключові параметри товару або його стан. Це може включати місцезнаходження, температуру, вологість, фізичні удари або інші дані, залежно від специфіки галузі. Дані фіксуються у реальному часі і передаються через комунікаційні шлюзи до обчислювального середовища.

На другому етапі шлюзи передачі даних виконують функцію передачі інформації до серверної інфраструктури або хмарної платформи. Шлюзи можуть використовувати різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, LoRaWAN, 4G/5G або

інші. На цьому етапі дані також можуть бути попередньо оброблені, зокрема виконана їх фільтрація для видалення шумів або помилкових значень.

На третьому етапі зібрані дані передаються до хмарної інфраструктури, де вони зберігаються та обробляються. Серверна система забезпечує агрегацію даних, виконання складних обчислень та аналітики. Наприклад, система може аналізувати температуру в контейнерах для виявлення відхилень від норми або будувати маршрути на основі даних про дорожню ситуацію. На цьому етапі дані можуть бути інтегровані з ERP-системами підприємства для автоматизації бізнес-процесів.

На четвертому етапі оброблені дані інтегруються з блокчейн-платформою. Кожна значуща транзакція, пов'язана з товаром (зміна локації, передача від одного суб'єкта до іншого, перевірка умов зберігання), записується у вигляді блоку у блокчейні. Цей запис включає часову мітку, унікальний ідентифікатор товару та дані, отримані від IoT-пристроїв. Використання блокчейну гарантує, що дані є прозорими, незмінними та доступними для перевірки всіма учасниками ланцюга постачання. П'ятий етап включає використання смарт-контрактів для автоматизації певних дій. Наприклад, система може автоматично підтвердити доставку товару після його прибуття на визначену точку, опираючись на дані GPS, або ініціювати оплату за контрактом після підтвердження отримання. Це знижує витрати часу та ризик помилок, пов'язаних із людським фактором. На шостому етапі кінцеві користувачі отримують доступ до даних через зручні інтерфейси. Це можуть бути мобільні додатки, веб-портали або інтеграція з корпоративними системами управління. Споживачі можуть перевіряти інформацію про походження товару, умови його транспортування, автентичність та інші ключові параметри. Наприклад, скануючи QR-код на упаковці, користувач може отримати доступ до записів у блокчейні, які підтверджують, що товар відповідає стандартам якості.

На завершальному етапі система генерує звіти та аналітичні дані, які можуть бути використані для оптимізації логістичних процесів, прогнозування попиту чи виявлення ризиків. Дані про збої, затримки чи відхилення автоматично

фіксуються та передаються до відповідальних осіб для оперативного вирішення проблем. Алгоритм функціонування системи охоплює весь цикл управління товаром — від збору даних до їхнього використання для прийняття рішень. Завдяки цьому забезпечується прозорість, ефективність та надійність у всіх аспектах логістики, що є ключовими перевагами системи. Розширення функціональності системи можливе шляхом інтеграції з іншими передовими технологіями та вдосконалення існуючих процесів. Одним із ключових аспектів є подальший розвиток аналітичних можливостей системи.

Аналітичний рівень може бути підсилений використанням технологій штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Зібрані IoT-дані в поєднанні з блокчейн-записами можуть бути використані для прогнозування потенційних ризиків, таких як затримки доставки, пошкодження товарів або збої в ланцюгах постачання. Наприклад, аналіз історичних даних про температуру в контейнерах може допомогти передбачити можливість порушення умов транспортування і запропонувати корективні заходи.

Автоматизація процесів на основі алгоритмів також сприятиме оптимізації. Наприклад, система може автоматично перенаправляти товар на альтернативний склад у разі заповнення основного. Крім того, аналіз даних у реальному часі дозволяє приймати оперативні рішення, наприклад, змінювати маршрути перевезення залежно від умов на дорозі чи погоди.

Зворотний зв'язок із кінцевими користувачами також є важливим етапом удосконалення системи. Наприклад, система може генерувати автоматичні повідомлення або сповіщення для клієнтів про стан доставки, затримки або інші важливі зміни. Це дозволяє підвищити довіру та задоволеність клієнтів, що є важливим для побудови довгострокових відносин.

Екологічна складова системи може бути інтегрована через облік викидів вуглецю під час транспортування. Система може збирати дані про витрати палива, обчислювати екологічний слід логістичних операцій і рекомендувати заходи для його зменшення. Наприклад, аналіз маршрутів може запропонувати

вибір більш ефективного шляху з мінімальними витратами палива або використання альтернативних видів транспорту.

Безперервне вдосконалення безпеки є ще одним напрямом розвитку системи. Використання блокчейну вже забезпечує незмінність даних, але додаткові шари захисту, такі як штучний інтелект для виявлення аномалій у записах або атак на мережу, можуть значно підвищити рівень безпеки. Наприклад, система може автоматично блокувати спроби несанкціонованого доступу або генерувати сповіщення для адміністраторів.

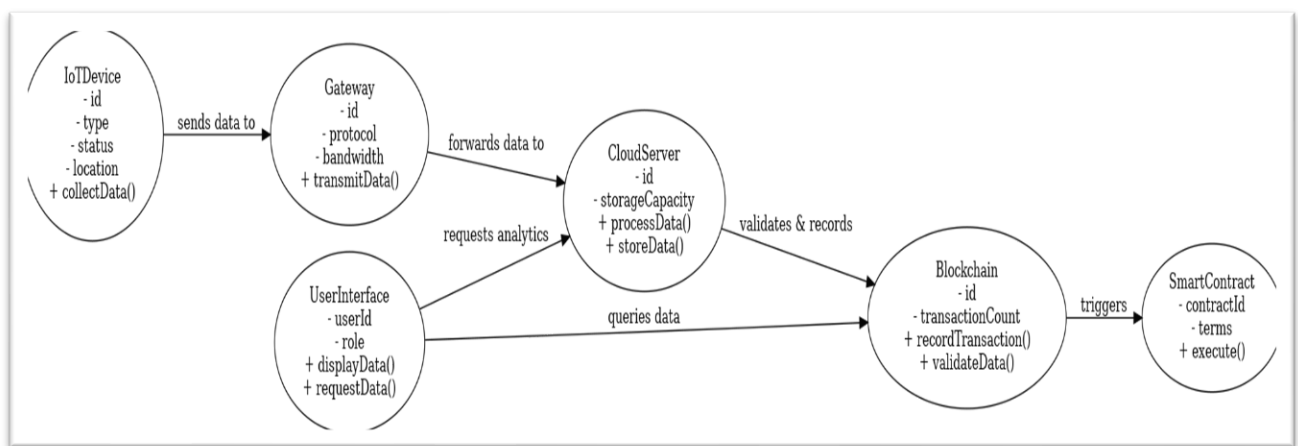


Рис.2.2 Діаграма класів

Розширення модульності системи забезпечує її гнучкість і адаптивність. Додавання нових модулів, таких як модулі управління запасами або інтеграції з платформами електронної комерції, дозволяє використовувати систему для ширшого спектру завдань. Наприклад, інтеграція з маркетплейсами може забезпечити синхронізацію даних про доставку, відстеження та статус замовлень. Таким чином, алгоритм функціонування системи є гнучким і адаптованим до сучасних потреб бізнесу. Його подальший розвиток, зокрема через інтеграцію аналітики, автоматизації та екологічних функцій, дозволяє створити інноваційне рішення, яке відповідає викликам сучасної логістики та підвищує конкурентоспроможність підприємств.

2.4. Реалізація базових компонентів системи

Реалізація базових компонентів системи відстеження на основі IoT та блокчейну включає розробку та інтеграцію ключових елементів, кожен з яких виконує специфічні функції для забезпечення роботи системи в цілому.

IoT-пристрої є першим і найважливішим компонентом системи, який відповідає за збір даних у реальному часі. Реалізація IoT-пристроїв передбачає використання датчиків, RFID-міток і GPS-трекерів. Наприклад, датчики температури можуть контролювати умови транспортування товарів, тоді як GPS-трекери забезпечують відстеження місцезнаходження вантажів. Для ефективної роботи ці пристрої мають бути обладнані модулями бездротового зв'язку (Wi-Fi, LoRaWAN або 5G) та мати енергоефективний дизайн, що дозволяє працювати у віддалених місцях протягом тривалого часу без заміни батарей.

Шлюзи передачі даних виступають як проміжна ланка між IoT-пристроями та серверною інфраструктурою. Вони відповідають за збір даних від численних IoT-пристроїв і передачу цих даних до хмарних серверів чи локальних центрів обробки. Реалізація шлюзів включає налаштування протоколів передачі даних (MQTT, HTTP або CoAP) та забезпечення сумісності з різними типами IoT-пристроїв. Наприклад, у сільськогосподарських умовах шлюзи можуть бути обладнані технологією LoRaWAN для забезпечення зв'язку на великих відстанях. Хмарна інфраструктура є основним середовищем для обробки та зберігання даних. Реалізація хмарної платформи включає створення баз даних, серверів обробки даних і аналітичних інструментів. Наприклад, використання сервісів AWS або Google Cloud дозволяє обробляти великий обсяг даних, отриманих від IoT-пристроїв, і надавати аналітичні звіти в режимі реального часу. Хмарні сервіси також забезпечують резервне копіювання та можливість масштабування системи за рахунок додавання нових ресурсів.

Блокчейн-платформа є ключовим компонентом, який забезпечує прозорість і безпеку даних. Реалізація блокчейну включає вибір відповідної платформи, такої як Ethereum, Hyperledger або Binance Smart Chain, залежно від вимог до продуктивності та витрат. На блокчейн-платформі зберігаються транзакції,

пов'язані з кожним етапом переміщення товару. Кожна транзакція включає часову мітку, унікальний ідентифікатор товару та дані, отримані від IoT-пристроїв. Блокчейн також інтегрується зі смарт-контрактами для автоматизації процесів, таких як підтвердження доставки або оплата.

Смарт-контракти реалізуються як програмовані модулі, які автоматизують певні дії на основі заздалегідь визначених умов. Наприклад, після того як GPS-дані підтвердять доставку товару до кінцевого пункту, смарт-контракт може автоматично ініціювати оплату. Реалізація смарт-контрактів включає написання кодів на мовах програмування, таких як Solidity для Ethereum.

Користувацький інтерфейс забезпечує доступ до системи для різних типів користувачів, включаючи операторів, менеджерів і клієнтів. Реалізація інтерфейсу передбачає створення мобільних додатків, веб-порталів або спеціалізованих програмних рішень. Наприклад, мобільний додаток може дозволяти кінцевим споживачам перевіряти автентичність товару, скануючи QR-код, який веде до запису в блокчейні. Веб-портал може надавати менеджерам доступ до аналітики та звітів про стан ланцюгів постачання.

Системи безпеки є критично важливим елементом, який забезпечує захист даних і інфраструктури. Реалізація безпеки включає використання шифрування (SSL/TLS) для передачі даних, аутентифікації користувачів через багатофакторну перевірку та обмеження доступу на основі ролей. Крім того, блокчейн забезпечує незмінність даних, що робить систему стійкою до шахрайства.

Моніторинг і технічна підтримка реалізуються через системи, які дозволяють автоматично виявляти збої в роботі пристроїв або інфраструктури. Це можуть бути інструменти моніторингу в реальному часі, які відправляють сповіщення про проблеми, або аналітичні платформи, які допомагають прогнозувати можливі несправності.

Реалізація цих базових компонентів забезпечує ефективність, надійність і адаптивність системи відстеження. Усі елементи тісно взаємодіють один з одним, створюючи інтегровану платформу для управління ланцюгами постачання, яка відповідає сучасним потребам бізнесу та технологічним стандартам. Інтеграція

компонентів є наступним ключовим етапом реалізації системи. Після окремого налаштування всіх базових елементів необхідно забезпечити їхню безперебійну взаємодію. Для цього використовуються інтерфейси програмування додатків (API), які дозволяють різним компонентам системи обмінюватися даними. Наприклад, API може забезпечувати передачу даних між шлюзами IoT і хмарною інфраструктурою або синхронізацію інформації з блокчейн-платформою. Інтеграція також включає тестування сумісності між компонентами, щоб уникнути втрати або викривлення даних.

Тестування системи є обов'язковим етапом перед її впровадженням. На цьому етапі перевіряється працездатність кожного компонента окремо та системи в цілому. Тестування включає перевірку коректності збору даних IoT-пристроями, стабільності передачі даних через шлюзи, швидкості обробки та зберігання на хмарній платформі, а також точності записів у блокчейні. Смарт-контракти тестуються на виконання запрограмованих дій, а користувацький інтерфейс — на зручність і доступність функціоналу. Особливу увагу приділяють навантажувальному тестуванню, щоб переконатися, що система здатна витримувати високі обсяги даних і кількість користувачів.

Впровадження системи починається з пілотного проєкту, який дозволяє перевірити систему в реальних умовах. На цьому етапі вибирається окрема ділянка логістичного ланцюга для тестування, наприклад, відстеження транспортування одного виду товарів. Пілотний проєкт допомагає виявити потенційні недоліки в роботі системи та вдосконалити її перед масштабним впровадженням.

Навчання персоналу є важливим етапом, який забезпечує ефективне використання системи. Оператори, менеджери та технічні фахівці повинні бути ознайомлені з основними функціями системи, принципами її роботи та процедурою вирішення можливих проблем. Навчання включає як теоретичну частину, так і практичні заняття з використання обладнання та програмного забезпечення.

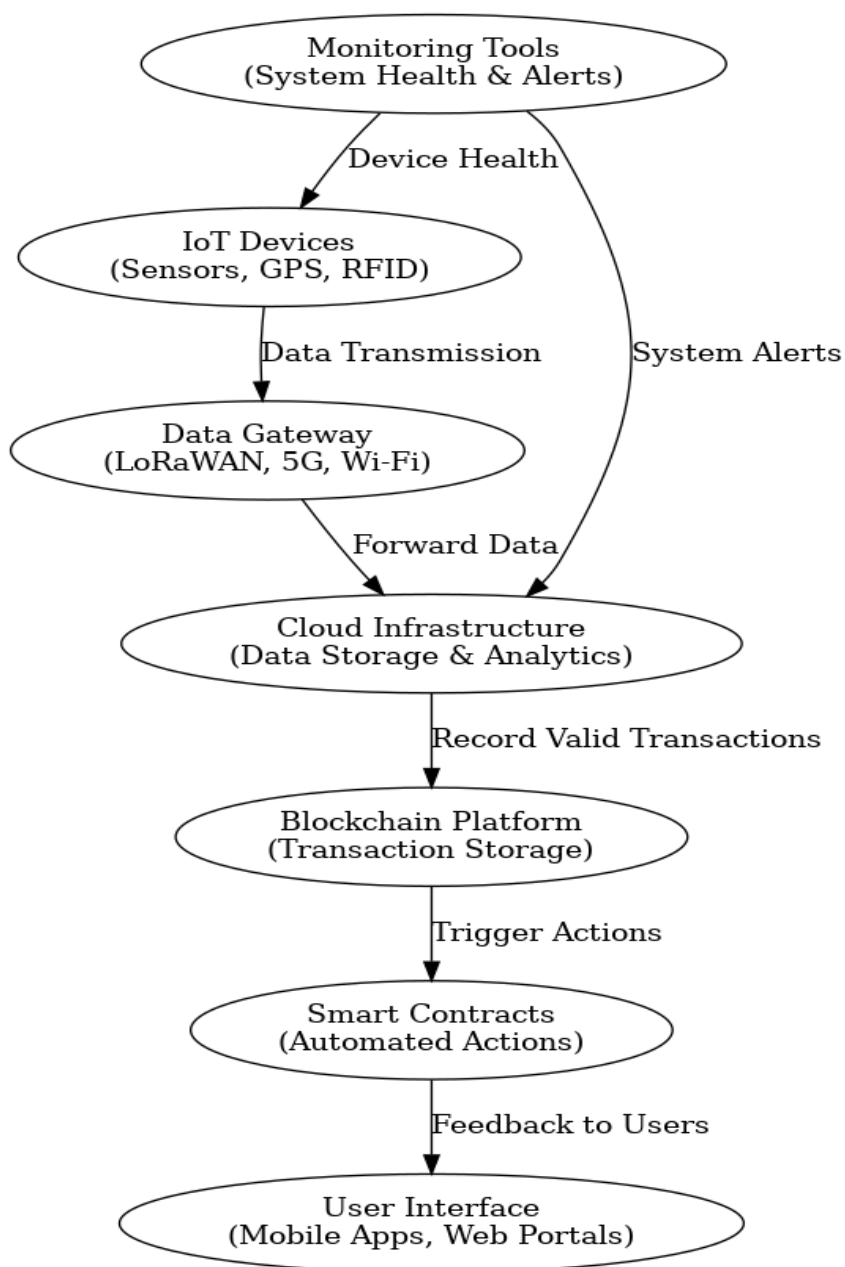


Рис.2.3 Діаграма реалізації

Моніторинг і обслуговування системи після її впровадження забезпечують її стабільну роботу. Інструменти моніторингу дозволяють у режимі реального часу відстежувати стан IoT-пристроїв, з'єднань і серверів. У разі виникнення несправностей або відхилень від нормальних показників система генерує сповіщення для відповідальних осіб. Регулярне технічне обслуговування включає оновлення програмного забезпечення, перевірку працездатності обладнання та аналіз ефективності роботи системи. Масштабування системи є наступним кроком після успішного впровадження. У разі збільшення обсягів логістичних операцій система повинна підтримувати додавання нових IoT-

пристроїв, розширення серверних ресурсів і інтеграцію з новими блокчейн-платформами чи смарт-контрактами. Масштабування також включає адаптацію системи до роботи в нових регіонах або галузях, якщо бізнес розширює свою діяльність.

Оцінка ефективності проводиться через певний період після впровадження системи. Вона включає аналіз основних показників, таких як швидкість обробки даних, точність відстеження, зниження витрат на логістику та підвищення задоволеності клієнтів. На основі цих даних приймаються рішення щодо подальшого вдосконалення системи.

Таким чином, реалізація базових компонентів системи є багатоступеневим процесом, що включає налаштування, тестування, впровадження та постійне вдосконалення. Комплексний підхід до цього процесу забезпечує ефективну та надійну роботу системи, сприяючи досягненню бізнес-цілей та підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

2.5. Забезпечення безпеки та конфіденційності даних

Забезпечення безпеки та конфіденційності даних є одним із ключових аспектів реалізації системи відстеження на основі IoT та блокчейн. Оскільки система працює з великими обсягами чутливої інформації, включаючи деталі про товари, маршрути доставки та учасників ланцюга постачання, необхідно впровадити ефективні механізми захисту даних на всіх рівнях. Шифрування даних є базовим методом забезпечення безпеки. Усі дані, що передаються між IoT-пристроями, шлюзами, хмарними сервісами та блокчейном, повинні бути зашифровані. Для цього використовуються алгоритми симетричного та асиметричного шифрування, такі як AES-256 і RSA. Наприклад, дані про місцезнаходження товару, зібрані GPS-трекерами, шифруються перед передачею через мережу, щоб уникнути їх перехоплення. Аутентифікація користувачів є ще одним важливим аспектом безпеки. Усі учасники системи повинні бути ідентифіковані за допомогою унікальних облікових записів. Для цього застосовуються методи багатофакторної аутентифікації (MFA), які включають комбінацію пароля, біометричних даних або одноразових кодів (OTP).

Наприклад, адміністратори блокчейну можуть отримувати доступ до системи лише після введення пароля та підтвердження через мобільний додаток.

Контроль доступу забезпечує, що кожен користувач або пристрій має доступ лише до тих даних і функцій, які необхідні для виконання їхніх завдань. Це реалізується через політики рольового доступу (RBAC), де права користувачів визначаються їхніми ролями в системі. Наприклад, оператори IoT-пристроїв можуть лише переглядати дані про стан обладнання, тоді як менеджери отримують доступ до аналітичних звітів. Захист даних у блокчейні забезпечується його незмінною структурою. Усі транзакції, записані в блокчейн, шифруються та зберігаються у вигляді хронологічних блоків. Це виключає можливість змінити дані після їх запису. Крім того, використання механізму консенсусу, такого як Proof of Work (PoW) або Proof of Stake (PoS), гарантує, що лише перевірені транзакції додаються до ланцюга. Виявлення та запобігання аномаліям здійснюється через системи моніторингу та штучного інтелекту. Алгоритми аналізу можуть виявляти незвичні дії, такі як спроби доступу до даних із невідомого пристрою чи різке зростання кількості транзакцій, які можуть свідчити про атаку. Наприклад, якщо система зафіксує спробу змінити дані IoT-пристрою, це автоматично блокується, а відповідальні особи отримують сповіщення.

Резервне копіювання та відновлення даних є критично важливими для забезпечення стійкості системи до збоїв або кібератак. Система повинна регулярно створювати резервні копії всіх даних і мати механізми для їхнього швидкого відновлення. Наприклад, у разі атаки на хмарну інфраструктуру резервні копії можуть бути відновлені з децентралізованих джерел.

Захист від DDoS-атак передбачає використання розподілених систем фільтрації трафіку, які запобігають перевантаженню мережі. Наприклад, шлюзи передачі даних можуть бути обладнані спеціальними фільтрами, які блокують підозрілий трафік, а блокчейн може використовувати обмеження кількості транзакцій на одного учасника.

Відповідність нормативним вимогам є важливим аспектом забезпечення конфіденційності. Система повинна відповідати міжнародним стандартам безпеки, таким як ISO/IEC 27001, а також регуляторним вимогам, таким як GDPR у разі роботи з персональними даними. Це включає інформування користувачів про використання їхніх даних та отримання відповідної згоди.

Навчання персоналу є додатковим елементом забезпечення безпеки. Усі користувачі системи повинні бути ознайомлені з основними принципами захисту даних та правильної роботи з системою. Наприклад, оператори повинні знати, як уникати фішингових атак, а адміністратори — як реагувати на потенційні загрози. Таким чином, забезпечення безпеки та конфіденційності даних включає комплексний підхід, який охоплює технічні, організаційні та процедурні заходи. Інтеграція цих заходів у систему дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з витоком або пошкодженням даних, забезпечуючи стабільну та надійну роботу системи в цілому. Розширення механізмів безпеки є необхідним для адаптації системи до нових загроз і викликів. З розвитком технологій хакерські атаки стають дедалі складнішими, що потребує впровадження додаткових рівнів захисту. Один із таких механізмів — це інтеграція біометричної аутентифікації для доступу до критичних функцій. Використання відбитків пальців, розпізнавання облич або аналізу голосу може значно знизити ризик несанкціонованого доступу.

Технологія Zero Trust стає дедалі популярнішою у сфері кібербезпеки. Її принцип полягає в тому, що жоден користувач або пристрій не довіряється за замовчуванням, навіть якщо він знаходиться у внутрішній мережі. Кожен запит доступу перевіряється окремо, а доступ надається лише після підтвердження автентичності та дозволів. У системі відстеження це може бути реалізовано через багаторівневий контроль доступу до даних. Сегментація мережі є ще одним важливим інструментом безпеки. Всі компоненти системи можуть бути розділені на ізольовані сегменти, що запобігає розповсюдженню атак у разі компрометації однієї частини системи. Наприклад, IoT-пристрої можуть бути в окремому сегменті, ізольованому від хмарної інфраструктури або блокчейн-платформи.

Інтеграція з системами SIEM (Security Information and Event Management) дозволяє аналізувати події безпеки в реальному часі. Такі системи збирають і аналізують журнали активності з різних компонентів системи, виявляючи підозрілі дії або потенційні загрози. Наприклад, якщо спостерігається раптове збільшення трафіку від IoT-пристрою, який зазвичай генерує мінімальний обсяг даних, це може свідчити про його компрометацію. Автоматизовані механізми реагування допомагають мінімізувати наслідки загроз. Наприклад, система може автоматично відключати IoT-пристрій, якщо його активність виходить за межі нормальних параметрів, або блокувати доступ до блокчейн-платформи в разі виявлення спроби несанкціонованого доступу. Ці механізми значно скорочують час реагування на інциденти.

Періодичний аудит безпеки є важливим для забезпечення відповідності системи сучасним стандартам. Аудит включає тестування на проникнення, оцінку конфігурації пристроїв та перевірку дотримання політик безпеки. Це дозволяє виявити слабкі місця в системі та своєчасно їх усунути.

Прозорість у роботі з даними також є важливою складовою. Учасники системи повинні мати доступ до інформації про те, як обробляються їхні дані. Наприклад, блокчейн-платформа може надавати деталі про те, хто і коли мав доступ до певних записів. Це підвищує довіру користувачів і сприяє дотриманню нормативних вимог. Системи резервного копіювання повинні бути вдосконалені для забезпечення захисту від атак типу ransomware, коли зловмисники шифрують дані з метою викупу. Резервні копії повинні зберігатися в ізольованих середовищах із обмеженим доступом.

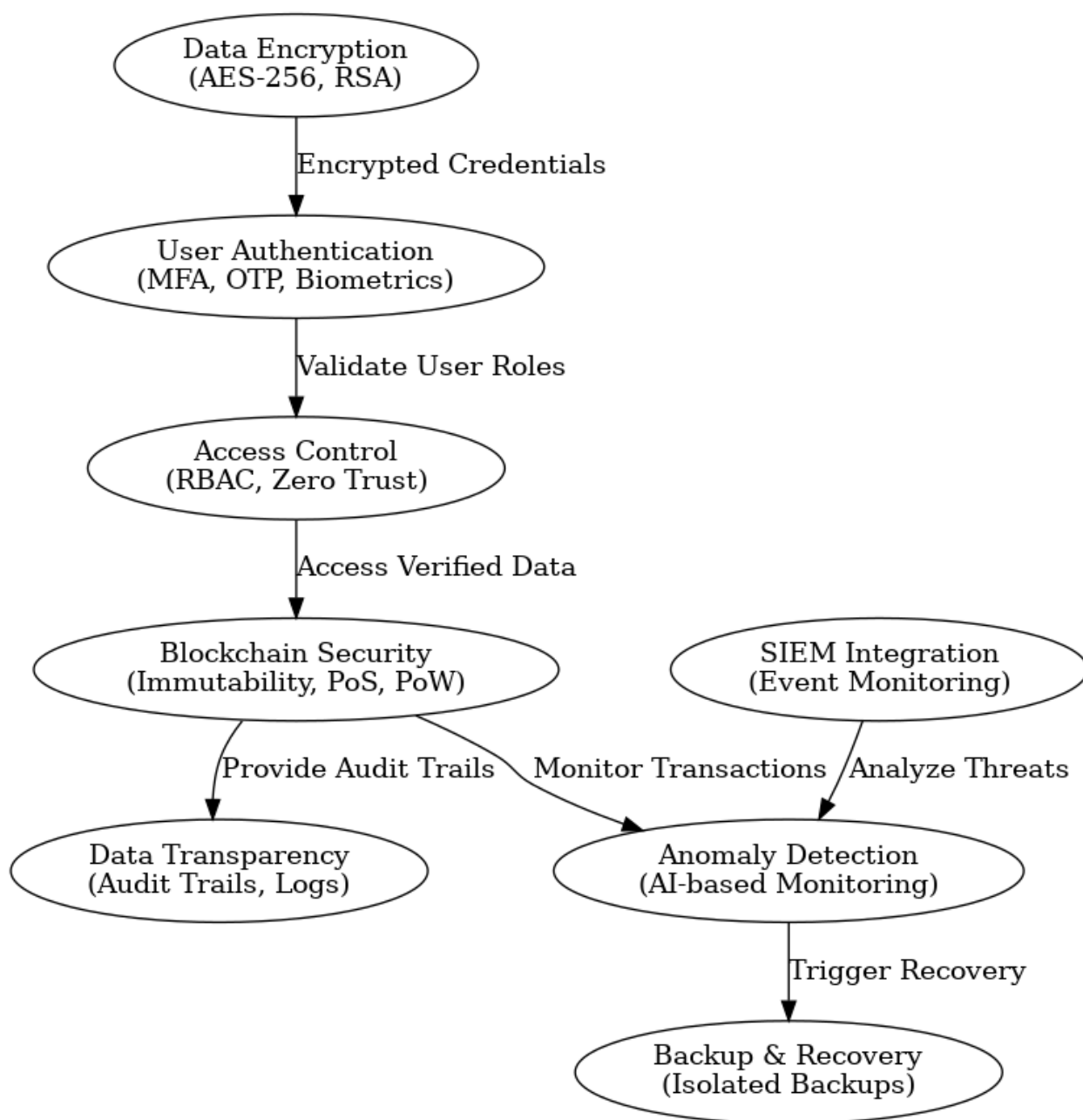


Рис.2.4 Діаграма забезпечення безпеки

Майбутні технологічні вдосконалення, такі як квантове шифрування, можуть стати основою для ще більш надійного захисту даних у довгостроковій перспективі. Використання таких технологій може зробити систему стійкою до нових загроз, які можуть виникнути у майбутньому. Забезпечення безпеки та конфіденційності даних є динамічним і багатогранним процесом, який вимагає постійного вдосконалення. Інтеграція сучасних технологій, розробка політик безпеки та регулярний моніторинг є ключовими елементами цього процесу. Завдяки цьому система відстеження здатна забезпечити не лише ефективну роботу, але й високий рівень довіри з боку користувачів.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

3.1. Моделювання роботи системи: практичні приклади

Моделювання роботи системи відстеження на основі IoT та блокчейну є важливим етапом, який дозволяє оцінити її ефективність і визначити можливості впровадження в реальних умовах. Практичні приклади демонструють, як компоненти системи взаємодіють між собою для вирішення конкретних завдань, таких як моніторинг умов транспортування, забезпечення прозорості постачання та автоматизація процесів.

Приклад 1: Відстеження транспортування заморожених продуктів

У цьому сценарії IoT-пристрої, зокрема датчики температури, встановлюються в рефрижераторних контейнерах. Система фіксує температуру всередині контейнера кожні 5 хвилин і передає ці дані через шлюзи до хмарної платформи. Дані про температуру зберігаються в блокчейні у вигляді транзакцій, які містять часову мітку, показники температури та унікальний ідентифікатор контейнера.

Наприклад, якщо температура виходить за межі встановлених допустимих значень, система генерує автоматичне сповіщення для відповідальних осіб. Одночасно смарт-контракт у блокчейні фіксує порушення умов транспортування, що може стати підставою для компенсації збитків чи перегляду договору з перевізником. Кінцеві користувачі, такі як менеджери складу чи клієнти, можуть переглядати історію температурного режиму через мобільний додаток, скануючи QR-код контейнера.

Приклад 2: Забезпечення прозорості постачання фармацевтичних препаратів

Фармацевтична компанія використовує систему для відстеження поставок ліків від виробника до аптек. На кожному етапі ланцюга постачання RFID-мітки, прикріплені до упаковок, зчитуються за допомогою пристроїв IoT. Ці дані передаються до хмарної платформи, де вони аналізуються та записуються в блокчейн.

Коли аптека отримує товар, смарт-контракт автоматично підтверджує доставку, якщо всі етапи ланцюга постачання були виконані відповідно до стандартів. Якщо ліки не проходили певні етапи або їхні умови транспортування були порушені, система блокує можливість продажу товару. Це гарантує, що до кінцевого споживача потрапляють лише якісні препарати. Споживачі можуть перевірити справжність препарату через мобільний додаток, отримуючи доступ до даних у блокчейні.

Приклад 3: Моніторинг великих об'єктів у будівництві

Система використовується для відстеження матеріалів і обладнання на будівельному майданчику. Наприклад, кожна партія цементу позначається унікальним кодом, який зчитується IoT-пристроями під час доставки. Дані про дату доставки, кількість і місце зберігання матеріалів записуються в блокчейн.

У разі виникнення затримок або нестачі матеріалів система автоматично повідомляє керівників про необхідність коригування постачання. Це дозволяє уникнути збоїв у роботі будівельних бригад і забезпечити ефективне використання ресурсів. Крім того, у разі виникнення спірних ситуацій, наприклад щодо якості матеріалів, блокчейн-записи забезпечують прозорість і доказову базу.

Приклад 4: Управління логістикою електронної комерції

Інтернет-магазин інтегрує систему відстеження для оптимізації доставки замовлень клієнтам. IoT-пристрої у вигляді GPS-трекерів встановлюються на транспортних засобах кур'єрів, що дозволяє в реальному часі відстежувати місцезнаходження вантажів. Дані передаються до хмарної платформи, де система аналізує маршрути доставки та пропонує оптимальні шляхи.

Клієнти отримують сповіщення про місцезнаходження свого замовлення, а також передбачуваний час доставки. У разі затримок система автоматично змінює маршрут і повідомляє клієнта про нові терміни. Всі дії фіксуються у блокчейні, що дозволяє уникнути суперечок між компанією та клієнтами.

Ці приклади демонструють, як система відстеження на основі IoT та блокчейну дозволяє підвищити прозорість, точність і ефективність у різних галузях. Завдяки

інтеграції сучасних технологій система стає універсальним інструментом для вирішення широкого спектра завдань.

Оптимізація процесів на основі моделювання є важливим кроком після реалізації практичних сценаріїв. Моделювання дозволяє ідентифікувати вузькі місця в ланцюзі постачання та запропонувати заходи для їх усунення. Наприклад, аналіз маршруту транспортування може виявити затори в певний час доби, що дозволяє змінити графік доставки для уникнення затримок. У будівництві, моделювання може допомогти передбачити нестачу матеріалів і оптимізувати їх використання, знижуючи витрати.

Інтеграція аналітики та прогнозування доповнює моделювання. Використання технологій штучного інтелекту (ШІ) і машинного навчання дозволяє системі прогнозувати ризики, такі як можливі поломки IoT-пристроїв, недотримання умов транспортування або порушення термінів доставки. Наприклад, на основі історичних даних про температурні коливання система може попередити про ризик псування товарів, що транспортуються, та запропонувати альтернативний спосіб доставки.

Адаптація системи до змінних умов є критично важливою для її ефективності в довгостроковій перспективі. Наприклад, в умовах пандемії COVID-19 багато ланцюгів постачання зіткнулися з раптовими змінами в попиті та логістичних обмеженнях. Система, що базується на IoT та блокчейні, може швидко адаптуватися, перенаправляючи ресурси на найбільш пріоритетні завдання. Наприклад, у фармацевтичній логістиці система може забезпечити пріоритетну доставку вакцин або медичних засобів.

Підвищення довіри між учасниками ланцюга постачання є одним із ключових результатів моделювання. Завдяки прозорості блокчейну кожен учасник має доступ до незмінних записів, що підтверджують виконання зобов'язань іншими сторонами. Наприклад, виробники можуть бути впевнені, що їхній товар доставлений до кінцевого споживача у належному стані, а клієнти можуть перевірити автентичність продукту.

Екологічна ефективність системи також покращується завдяки моделюванню. Аналіз даних про споживання палива, вибір оптимальних маршрутів і зменшення часу транспортування дозволяють знизити викиди CO₂. Наприклад, компанії, які використовують систему для управління логістикою, можуть звітувати про зниження вуглецевого сліду, що підвищує їхню репутацію серед екологічно свідомих споживачів.

Таблиця 3.1

Практичні приклади моделювання роботи системи

Приклад	Опис сценарію	Ключові компоненти	Переваги
Відстеження транспортування заморожених продуктів	Контроль температури в рефрижераторних контейнерах із записом даних у блокчейн. Генерація сповіщень у разі порушення умов транспортування.	IoT-датчики, шлюзи передачі даних, хмарна платформа, блокчейн, смарт-контракти.	Прозорість транспортування, автоматизація сповіщень, запобігання втратам.
Забезпечення прозорості постачання фармацевтичних препаратів	Відстеження кожного етапу поставок ліків через RFID-мітки. Блокування продажу у разі порушення умов постачання.	RFID-мітки, IoT-зчитувачі, блокчейн-платформа, мобільний додаток.	Гарантія автентичності товарів, відповідність умовам транспортування.
Моніторинг великих об'єктів у будівництві	Облік доставки будівельних матеріалів із фіксацією місця та часу отримання. Попередження про нестачу ресурсів.	GPS-трекери, хмарна аналітика, блокчейн-записи.	Ефективне використання ресурсів, мінімізація затримок.

Приклад	Опис сценарію	Ключові компоненти	Переваги
Управління логістикою електронної комерції	GPS-трекінг кур'єрів із оптимізацією маршрутів доставки. Сповіщення клієнтів про місцезнаходження замовлення.	GPS-трекери, мобільний додаток, блокчейн, алгоритми оптимізації маршрутів.	Покращений сервіс для клієнтів, зниження витрат на логістику.

Розробка стратегії масштабування системи на основі моделювання дозволяє розширювати її функціонал без значних витрат. Наприклад, якщо система відстеження успішно працює для одного типу товарів, її можна адаптувати для інших видів продукції чи розширити географічне покриття. Це включає додавання нових IoT-пристроїв, збільшення серверних ресурсів у хмарній інфраструктурі та інтеграцію з додатковими платформами, такими як ERP або CRM.

Таким чином, моделювання роботи системи демонструє її здатність не лише вирішувати актуальні завдання, але й відкривати нові можливості для бізнесу. Практичні приклади підтверджують, що така система підвищує ефективність, прозорість та гнучкість операцій у різних галузях, забезпечуючи конкурентні переваги для підприємств, які її впроваджують.

3.2. Порівняльний аналіз із існуючими рішеннями

Система відстеження на основі IoT та блокчейну має низку унікальних характеристик, які відрізняють її від традиційних рішень. Порівняльний аналіз із існуючими платформами дозволяє визначити її переваги, недоліки та потенційні

напрями вдосконалення. Традиційні системи відстеження зазвичай базуються на централізованих підходах. Вони використовують GPS-трекери, RFID-мітки та системи управління базами даних для зберігання інформації. Такі рішення є ефективними для простих логістичних операцій, однак їхні можливості значно обмежені при роботі зі складними багаторівневими ланцюгами постачання. Основними проблемами є вразливість до кібератак, обмежена прозорість даних і відсутність автоматизації ключових процесів.

У порівнянні з традиційними рішеннями, система на основі IoT та блокчейну пропонує повністю децентралізовану модель. Блокчейн гарантує, що всі дані є незмінними та доступними для перевірки всіма учасниками ланцюга постачання. Це виключає можливість шахрайства або маніпуляцій із записами. Наприклад, у традиційних системах адміністратори можуть мати змогу змінювати дані, тоді як у блокчейні це неможливо без досягнення консенсусу між усіма учасниками мережі. Автоматизація процесів є ще однією важливою перевагою. Традиційні рішення вимагають значних людських ресурсів для обробки даних, створення звітів та контролю за дотриманням умов транспортування. Система IoT та блокчейну використовує смарт-контракти для автоматизації цих завдань. Наприклад, якщо товар прибуває на склад, смарт-контракт може автоматично підтвердити доставку та ініціювати оплату.

Швидкість і масштабованість також є критичними аспектами порівняння. Традиційні системи можуть бути ефективними на невеликих обсягах даних, але їхня продуктивність значно знижується при масштабуванні. Використання хмарної інфраструктури в поєднанні з IoT забезпечує обробку великих обсягів даних у реальному часі. Наприклад, навіть при тисячах IoT-пристроїв, які збирають дані одночасно, система залишається стабільною та швидкодіюююю. Вартість впровадження та підтримки є важливим критерієм для бізнесу. Традиційні рішення зазвичай дешевші на початковому етапі, оскільки вони не вимагають складної інфраструктури. Однак витрати на обслуговування, модернізацію та забезпечення безпеки таких систем можуть значно зрости з часом. Система IoT та блокчейну вимагає більших інвестицій на початковому

етапі через необхідність налаштування пристроїв, створення хмарної інфраструктури та інтеграції блокчейну. Водночас її довгострокова економічна ефективність вища завдяки зниженню витрат на людські ресурси, мінімізації втрат і автоматизації процесів.

Безпека даних є ще однією критичною точкою порівняння. Традиційні системи зазвичай вразливі до атак, оскільки дані зберігаються у централізованих базах, які можуть стати об'єктами злому. Блокчейн у поєднанні з шифруванням та багатофакторною аутентифікацією забезпечує значно вищий рівень безпеки. Наприклад, навіть у разі компрометації окремого IoT-пристрою система залишається захищеною завдяки децентралізованій природі блокчейну.

Прозорість і довіра є ключовими перевагами IoT та блокчейн-рішень. Традиційні системи часто не забезпечують доступ до даних для всіх учасників ланцюга постачання, що може створювати конфлікти. У блокчейні всі записи доступні для перевірки, що підвищує довіру між постачальниками, перевізниками та клієнтами.

Інноваційність і адаптивність також слід враховувати. Традиційні системи не мають можливості інтеграції з новітніми технологіями, такими як штучний інтелект або 5G. У свою чергу, система IoT та блокчейну є гнучкою платформою, яку можна розширювати та вдосконалювати для відповідності новим викликам і вимогам ринку. Система відстеження на основі IoT та блокчейну має значні переваги перед традиційними рішеннями, зокрема у сфері безпеки, автоматизації та прозорості. Водночас її впровадження потребує більш складної підготовки та початкових інвестицій. Це робить її оптимальним вибором для великих і складних ланцюгів постачання, де пріоритетом є ефективність і надійність. **Обмеження та потенційні виклики** системи на основі IoT та блокчейну також є важливими аспектами для аналізу. Хоча система демонструє значні переваги, існують певні технічні та організаційні труднощі, які слід враховувати при її впровадженні.

Складність налаштування та інтеграції є одним із основних викликів. Для роботи системи потрібна координація між різними компонентами, такими як

IoT-пристрої, шлюзи передачі даних, хмарна інфраструктура та блокчейн. У великих ланцюгах постачання інтеграція може вимагати значних ресурсів і часу. Наприклад, підключення тисяч IoT-пристроїв до єдиної платформи потребує висококваліфікованого персоналу та складної технічної інфраструктури.

Продуктивність блокчейну також може стати проблемою для масштабованих систем. Популярні публічні блокчейн-платформи, такі як Ethereum, мають обмежену пропускну здатність, яка може бути недостатньою для обробки великої кількості транзакцій у реальному часі. Це вимагає використання приватних або гібридних блокчейнів, які пропонують вищу продуктивність, але менш прозорі для зовнішніх учасників.

Питання конфіденційності даних є ще одним викликом. Хоча блокчейн забезпечує незмінність і прозорість даних, деякі учасники можуть бути не готові до розкриття всієї інформації про свої операції. Наприклад, постачальники можуть побоюватися, що їхні конкуренти отримають доступ до комерційно важливих даних. Це можна вирішити за допомогою шифрування або створення приватних блокчейн-мереж із обмеженим доступом.

Висока початкова вартість впровадження може стати бар'єром для малих і середніх підприємств. Установка IoT-пристроїв, створення хмарної інфраструктури та налаштування блокчейн-платформи вимагають значних інвестицій. Однак у довгостроковій перспективі ці витрати компенсуються за рахунок підвищення ефективності та зниження операційних витрат.

Енергоспоживання системи, особливо якщо вона використовує енергоємні блокчейн-платформи, такі як ті, що працюють на основі алгоритму консенсусу Proof of Work, може бути високим. Це важливо враховувати для підприємств, які прагнуть до екологічної стійкості. Використання більш енергоефективних технологій, таких як Proof of Stake або консенсус на основі делегованих вузлів, може знизити вплив на довкілля.

Необхідність навчання персоналу є ще одним фактором, який може вплинути на швидкість впровадження системи. Працівники повинні бути ознайомлені з основними принципами роботи системи, використанням IoT-

пристроїв та аналізом даних у блокчейні. Це вимагає додаткових ресурсів на навчальні програми та адаптацію співробітників до нових технологій.

Потенціал розвитку та інновацій залишається важливим аспектом. У майбутньому система може бути вдосконалена за рахунок інтеграції штучного інтелекту для прогнозування ризиків, автоматизації рішень та покращення точності аналітики. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть використовувати дані IoT для виявлення аномалій або прогнозування попиту на товари.

Глобальне впровадження системи дозволяє створити стандартизовані рішення для багатонаціональних компаній. Однак це також вимагає врахування регіональних особливостей, таких як нормативні вимоги до зберігання даних та стандарти безпеки. Наприклад, у ЄС система повинна відповідати GDPR для захисту персональних даних.

Таким чином, хоча система IoT та блокчейну має деякі обмеження, вони можуть бути подолані шляхом використання новітніх технологій, ефективного управління проектами та адаптації до специфічних потреб бізнесу. У результаті система надає значні переваги для підвищення прозорості, ефективності та довіри у ланцюгах постачання, відкриваючи нові можливості для бізнесу та галузевих інновацій.

3.3. Економічна та технічна оцінка впровадження системи

Впровадження системи відстеження на основі IoT та блокчейну вимагає комплексного аналізу як економічних, так і технічних аспектів, що дозволяє оцінити її доцільність, ефективність і перспективи розвитку. Ця оцінка базується на розрахунках витрат, потенційної економії, технологічних переваг і можливих ризиків.

Економічна оцінка починається з аналізу початкових інвестицій. Основні витрати включають закупівлю IoT-пристроїв (датчики, RFID-мітки, GPS-трекери), створення або оренду хмарної інфраструктури, інтеграцію блокчейн-платформи та розробку користувацьких інтерфейсів. Наприклад, для середнього

підприємства витрати на встановлення одного IoT-пристрою можуть варіюватися від \$50 до \$200, залежно від складності. Крім того, налаштування блокчейн-платформи може потребувати кількох десятків тисяч доларів, особливо якщо йдеться про приватні мережі.

Операційні витрати включають обслуговування IoT-пристроїв, оплату хмарних сервісів, ліцензійні платежі за блокчейн-платформу та підтримку персоналу. Хмарні сервіси, такі як AWS або Google Cloud, зазвичай стягують плату за використання ресурсів, що залежить від обсягу даних, що зберігаються, і частоти їх обробки. Вартість таких послуг може становити від кількох сотень до тисяч доларів на місяць. Економічна вигода від впровадження системи проявляється у зниженні операційних витрат, мінімізації втрат і підвищенні ефективності. Наприклад, автоматизація процесів дозволяє скоротити витрати на ручну обробку даних і адміністративні процедури. Відстеження умов транспортування запобігає псуванню товарів, що є особливо важливим для харчової та фармацевтичної галузей. За оцінками, використання IoT-датчиків може знизити втрати на 10-20% у логістичних операціях.

Підвищення довіри між учасниками ланцюга постачання також має економічний ефект. Прозорість і доступність даних зменшують кількість суперечок і витрат, пов'язаних із розв'язанням конфліктів. Наприклад, блокчейн може слугувати незаперечним джерелом доказів у разі претензій до постачальників або перевізників.

Технічна оцінка фокусується на надійності, масштабованості та адаптивності системи. Однією з ключових переваг є здатність IoT та блокчейн-рішень працювати з великими обсягами даних у реальному часі. Для цього потрібна потужна хмарна інфраструктура з низькими затримками. Використання сучасних протоколів передачі даних, таких як MQTT або LoRaWAN, забезпечує стабільність навіть у віддалених регіонах. Безпека є ще одним важливим аспектом технічної оцінки. Система повинна відповідати найвищим стандартам кібербезпеки, включаючи шифрування даних, багатофакторну аутентифікацію та моніторинг активності. Використання блокчейну забезпечує незмінність записів

і захищає дані від несанкціонованих змін. Масштабованість системи дозволяє адаптувати її до зростання бізнесу. Наприклад, компанія може поступово збільшувати кількість IoT-пристроїв або розширювати географічне покриття без значних збоїв у роботі. Це забезпечується модульною архітектурою та використанням хмарних сервісів, які легко масштабуються.

Технічні ризики включають можливість збоїв у роботі IoT-пристроїв, затримки в передачі даних або низьку продуктивність блокчейну під час обробки великої кількості транзакцій. Для мінімізації цих ризиків необхідно забезпечити регулярне технічне обслуговування, тестування системи в умовах високих навантажень і впровадження резервних копій даних.

Оцінка окупності інвестицій (ROI) є важливим етапом економічного та технічного аналізу. На основі зниження втрат, підвищення ефективності та скорочення витрат можна розрахувати період, протягом якого система почне приносити прибуток. Для багатьох галузей цей період становить від одного до трьох років, залежно від масштабів бізнесу та складності впровадження.

Перспективи розвитку також враховуються в оцінці. У майбутньому система може інтегрувати штучний інтелект для прогнозування ризиків, покращення маршрутизації та автоматизації процесів. Крім того, використання технологій 5G дозволить значно підвищити швидкість передачі даних і розширити функціональні можливості IoT-пристроїв.

Економічна та технічна оцінка впровадження системи свідчить про її високу ефективність у довгостроковій перспективі, незважаючи на значні початкові витрати. Комплексний підхід до аналізу дозволяє виявити як переваги, так і потенційні ризики, забезпечуючи успішне впровадження та розвиток системи в різних галузях.

1. Початкові витрати

Початкові витрати включають закупівлю IoT-пристроїв, розробку блокчейн-платформи, оренду або налаштування хмарної інфраструктури та інтеграцію всіх компонентів.

- Кількість IoT-пристроїв: 500 одиниць.
- Вартість одного пристрою: \$150.
- Розробка блокчейн-платформи: \$25,000.
- Хмарна інфраструктура (перша річна оплата): \$10,000.
- Інтеграція та налаштування системи: \$15,000.

Загальні початкові витрати:

$$500 \times 150 + 25,000 + 10,000 + 15,000 = \$125,000.$$

2. Операційні витрати

Операційні витрати розраховуються на один рік і включають обслуговування пристроїв, хмарні послуги та підтримку персоналу.

- Обслуговування IoT-пристроїв: \$20 на один пристрій на рік.
- Річна оренда хмарних сервісів: \$10,000.
- Зарплата технічного персоналу: \$50,000 на рік (для трьох фахівців).

Загальні операційні витрати за рік:

$$500 \times 20 + 10,000 + 50,000 = \$70,000.$$

3. Економія від впровадження

Економія розраховується на основі зменшення витрат і скорочення витрат на адміністративні процеси.

- Зниження витрат у логістиці: 15% від обсягу товару.
- Обсяг товару: \$1,000,000 на рік.
- Економія на адміністративних витратах: \$30,000 на рік.

Загальна економія:

$$1,000,000 \times 0.15 + 30,000 = \$180,000.$$

4. Окупність інвестицій (ROI)

Окупність розраховується як відношення чистої вигоди до початкових витрат.

- Чиста вигода за рік: Економія - Операційні витрати = 180,000 - 70,000 = \$110,000.

- $ROI = (\text{Чиста вигода} / \text{Початкові витрати}) \times 100\% = (110,000 / 115,000) \times 100\% = 95.65\%$.

5. Період окупності

Період окупності розраховується як співвідношення початкових витрат до річної чистої вигоди:

Період окупності = Початкові витрати / Чиста вигода = $115,000 / 110,000 = 1.05$ року.

Висновки

- Загальні початкові витрати: \$115,000.
- Річні операційні витрати: \$70,000.
- Річна економія: \$180,000.
- Чиста вигода за рік: \$110,000.
- Окупність інвестицій (ROI): 95.65%.
- Період окупності: 1.05 року.

Впровадження системи є економічно вигідним, з високим ROI та коротким періодом окупності, що робить її привабливою для підприємств із середнім і великим обсягом логістичних операцій.

3.4. Рекомендації щодо вдосконалення системи

Вдосконалення системи відстеження на основі IoT та блокчейну спрямоване на підвищення її ефективності, масштабованості, безпеки та відповідності сучасним технологічним і бізнес-вимогам. Рекомендації охоплюють технічні, організаційні та економічні аспекти, які дозволяють системі розвиватися в умовах швидких змін у сфері логістики та управління ланцюгами постачання.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) дозволяє значно розширити можливості аналітики та автоматизації. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних, отриманих від IoT-пристроїв, і виявляти приховані закономірності. Це дозволить прогнозувати потенційні

ризика, такі як затримки у доставці, порушення умов транспортування або виникнення несправностей у пристроях. Крім того, ШІ може оптимізувати маршрути доставки на основі реальних даних про дорожню ситуацію та погодні умови.

Розширення функціоналу смарт-контрактів дозволить автоматизувати ще більше процесів. Наприклад, можна створити контракти для автоматичного управління запасами: при зниженні кількості товару до певного рівня система ініціює замовлення нової партії. Смарт-контракти також можуть використовуватися для динамічного коригування умов договорів залежно від змін у реальних даних, таких як коливання температури або затримки.

Підтримка нових технологій передачі даних, таких як 5G, забезпечить швидшу і надійнішу комунікацію між IoT-пристроями. 5G дозволяє знизити затримки в передачі даних, що є критично важливим для систем реального часу. Наприклад, у разі виявлення порушення умов транспортування сповіщення можуть миттєво надходити до відповідальних осіб, дозволяючи швидко реагувати на проблему. Впровадження технологій квантового шифрування є перспективним напрямом для забезпечення найвищого рівня безпеки даних. Блокчейн вже гарантує незмінність і прозорість даних, але квантове шифрування може захистити систему від можливих загроз у майбутньому, пов'язаних із розвитком квантових обчислень.

Створення модульної архітектури системи дозволяє підвищити її гнучкість та адаптивність. Завдяки модульному підходу можна легко додавати нові компоненти або замінювати існуючі без значних змін у загальній структурі. Наприклад, можна інтегрувати нові типи IoT-пристроїв або перейти на іншу блокчейн-платформу без порушення роботи всієї системи.

Оптимізація енергоспоживання є важливим завданням для зменшення експлуатаційних витрат та забезпечення екологічної стійкості. IoT-пристрої можуть бути вдосконалені для роботи на відновлюваних джерелах енергії, таких як сонячні батареї. Використання енергоефективних алгоритмів консенсусу,

таких як Proof of Stake, замість енергоємного Proof of Work, також допоможе зменшити вплив системи на довкілля.

Інтеграція системи з ERP та CRM платформами підвищить її зручність та ефективність для бізнесу. Наприклад, інтеграція з ERP-системами дозволить автоматично синхронізувати дані про запаси, замовлення та доставку, зменшуючи потребу у ручній обробці даних. У свою чергу, інтеграція з CRM-системами дозволить поліпшити обслуговування клієнтів, забезпечуючи їх доступом до актуальної інформації про статус замовлень. Впровадження децентралізованих автономних організацій (DAO) на базі блокчейну може стати наступним етапом розвитку системи. DAO дозволяють автоматизувати управління всіма процесами у ланцюзі постачання, де всі рішення приймаються на основі попередньо запрограмованих правил і голосування учасників.

Покращення користувацького інтерфейсу спрямоване на полегшення доступу до функціоналу системи для різних категорій користувачів. Наприклад, розробка інтуїтивно зрозумілих мобільних додатків із підтримкою різних мов дозволить залучити ширшу аудиторію. Інтерфейси можуть включати інтерактивні дашборди для моніторингу даних у реальному часі.

Навчання персоналу також має бути інтегрованим у процес вдосконалення системи. Працівники повинні розуміти, як використовувати нові функції системи, працювати з даними IoT та блокчейну, а також реагувати на можливі проблеми. Регулярні тренінги та навчальні програми підвищать ефективність використання системи.

Вдосконалення системи на основі цих рекомендацій дозволить не лише підвищити її функціональність та надійність, а й забезпечити конкурентні переваги на ринку. Інтеграція новітніх технологій, оптимізація витрат та підвищення зручності для користувачів створять основу для довгострокового розвитку системи. Подальший розвиток системи потребує глибокого аналізу її адаптивності до змінних умов ринку та впровадження стратегій для її гнучкої модернізації. Важливим напрямом є інтеграція з інноваційними рішеннями, такими як Інтернет речей промислового рівня (Industrial IoT), який забезпечує

більшу точність та масштабованість для великих логістичних операцій. Це дозволить системі обробляти ще більші обсяги даних і забезпечувати аналітичну підтримку для стратегічного планування.

Необхідно також зосередитися на створенні партнерських екосистем, де система відстеження стане частиною більшого цифрового простору, що об'єднує постачальників, виробників, логістичні компанії та кінцевих споживачів. Спільний доступ до даних та координація між учасниками дозволять зменшити затримки, уникати дублювання процесів і забезпечувати прозорість на всіх етапах ланцюга постачання. Наприклад, партнерські угоди з логістичними компаніями, що використовують 5G і автономні транспортні засоби, допоможуть оптимізувати доставку товарів. Особливу увагу слід приділити розширенню аналітичних можливостей системи через впровадження когнітивних технологій. Ці технології здатні не лише аналізувати дані, але й пропонувати оптимальні варіанти дій на основі складних моделей прогнозування. Наприклад, когнітивна аналітика може визначати, як змінювати маршрути доставки в умовах форс-мажорних обставин, таких як погодні катаклізми або збої у транспортній інфраструктурі. У контексті глобалізації важливо забезпечити підтримку системи на багатомовному рівні, адаптуючи її до нормативних та культурних особливостей різних країн. Це може бути реалізовано через автоматизовані перекладачі для інтерфейсу та алгоритми відповідності місцевим законам, наприклад, вимогам щодо зберігання персональних даних у ЄС або особливостям митного оформлення в Азії.

Екологічна стійкість системи може бути покращена через використання альтернативних джерел енергії для живлення IoT-пристроїв і впровадження алгоритмів оптимізації ресурсів. Наприклад, алгоритми можуть аналізувати викиди вуглецю, створювані логістичними операціями, і пропонувати екологічно безпечні рішення, такі як перехід на електричний транспорт або зміна маршрутів.

Ще одним важливим аспектом вдосконалення є створення комплексної системи моніторингу, яка буде працювати не лише з логістичними даними, але й з іншими показниками, такими як ефективність роботи персоналу, стан

обладнання та відповідність стандартам якості. Така система дозволить підприємствам отримувати повну картину їхньої діяльності, виявляти слабкі місця та впроваджувати заходи для їх усунення. На завершення, система має залишатися відкритою до нових технологічних рішень і бути готовою до інтеграції з наступним поколінням технологій, таких як децентралізовані фінансові сервіси (DeFi) для автоматизації платежів або цифрові близнюки (digital twins), які дозволяють створювати віртуальні копії фізичних об'єктів для їхнього аналізу. Це забезпечить її стійкість до майбутніх викликів і дозволить залишатися на передовій технологічного прогресу.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було розроблено та детально проаналізовано систему відстеження товарів на основі технологій Інтернету речей (IoT) та блокчейну. Дослідження продемонструвало, що інтеграція цих технологій дозволяє значно підвищити ефективність управління ланцюгами постачання, забезпечуючи прозорість, надійність і автоматизацію ключових процесів. Результати роботи підтвердили, що запропоноване рішення здатне вирішувати актуальні завдання сучасної логістики, знижуючи витрати та мінімізуючи ризики.

Перш за все, було проведено аналіз сучасного стану систем відстеження товарів, що дозволило виявити їхні основні недоліки. Традиційні централізовані рішення часто страждають від проблем, пов'язаних із низьким рівнем безпеки, обмеженою прозорістю даних та високими витратами на управління. Запропонована система, яка базується на децентралізованій моделі з використанням блокчейну, усуває ці недоліки, забезпечуючи незмінність записів і захист даних від маніпуляцій. Розробка архітектури системи та її компонентів дозволила створити комплексне рішення, яке включає IoT-пристрої для збору даних, шлюзи передачі для забезпечення стабільної комунікації, хмарну інфраструктуру для обробки даних і блокчейн для забезпечення безпеки та прозорості. Детальний опис технічних вимог і механізмів інтеграції підтвердив, що система здатна ефективно функціонувати навіть у великих і складних логістичних мережах.

Особливу увагу було приділено безпеці та конфіденційності даних. Використання шифрування, багатофакторної аутентифікації та механізмів виявлення аномалій забезпечує захист системи від кібератак і несанкціонованого доступу. Це дозволяє гарантувати збереження чутливої інформації навіть у разі збоїв чи загроз з боку зовнішніх факторів. Моделювання роботи системи та її практичні приклади підтвердили високу ефективність у реальних умовах. Завдяки використанню смарт-контрактів вдалося автоматизувати ключові процеси, такі як підтвердження доставки, управління запасами та ініціювання

платежів. Це дозволило скоротити витрати часу, мінімізувати людський фактор і підвищити точність виконання операцій.

Проведений порівняльний аналіз із існуючими рішеннями показав, що запропонована система значно перевершує традиційні підходи за такими параметрами, як безпека, масштабованість, прозорість і інтеграція з іншими технологіями. Незважаючи на вищі початкові витрати, її економічна ефективність у довгостроковій перспективі перевершує традиційні моделі завдяки зниженню втрат, автоматизації процесів і підвищенню довіри між учасниками ланцюга постачання.

Економічна та технічна оцінка впровадження системи підтвердила її доцільність. Обчислення показали, що окупність інвестицій відбувається протягом першого року експлуатації, а річний економічний ефект перевищує витрати на впровадження та підтримку. Це робить систему привабливою для впровадження в середніх і великих компаніях, які прагнуть оптимізувати свої логістичні операції.

Рекомендації щодо вдосконалення системи, запропоновані в роботі, відкривають нові можливості для її розвитку. Інтеграція штучного інтелекту, розширення функціональності смарт-контрактів, підтримка 5G та інших передових технологій дозволять підвищити продуктивність і адаптивність системи. Особливу увагу приділено екологічній складовій, що відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку.

У підсумку можна стверджувати, що запропонована система відстеження товарів є інноваційним рішенням, яке відповідає вимогам сучасного бізнесу. Вона дозволяє підприємствам знижувати витрати, підвищувати довіру між учасниками ланцюга постачання та забезпечувати прозорість на всіх етапах логістичних процесів. Завдяки її впровадженню компанії отримують конкурентні переваги на ринку, адаптуючись до змінних умов і впроваджуючи інновації у своїй діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. “How the internet of things can help create a better new normal” – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wired.co.uk/article/bc/vodafone-iot>
2. “IoT Architecture: the Pathway from Physical Signals to Business Decisions” – Режим доступу до ресурсу: <https://www.altexsoft.com/blog/iotarchitecture-layers-components/>
3. “Internet of Things: security and privacy implications” – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/275228804_Internet_of_Things_security_and_privacy_implications
4. “Privacy” – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gsma.com/aboutus/legal/privacy>
5. “RFID and Inclusive Model for the Internet of Things” – Режим доступу до ресурсу: <https://docbox.etsi.org/zArchive/TISPAN/Open/IoT/low%20resolution/www.rfidglobal.eu%20CASAGRAS%20IoT%20Final%20Report%20low%20resolution.pdf>
6. “IoT Privacy and Security: Challenges and Solutions” ” – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/12/4102/pdf>
7. “7 design principles for IoT” – Режим доступу до ресурсу: <https://futuraice.com/blog/7-design-principles-for-iot>
8. “Особенности защиты информации в Интернете вещей” – International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.10, 2018
9. V. Hassija et al.: Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8742551>

10. P. Yang et al.: Data Security and Privacy Protection for Cloud Storage: A Survey – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9142202> 66 66
11. S. Aljanabi, A. Chalechale: Improving IoT Services Using an HFCO – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9328240>
12. U. Khadam et al.: Digital Watermarking Technique for Text Document Protection Using Data Mining Analysis – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8713871>
13. M. BinJubier et al.: Comprehensive Survey on Big Data Privacy Protection – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8943156>
14. Towards Secured Online Monitoring for Digitalized GIS Against CyberAttacks Based on IoT and Machine Learning – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9440436>
15. Analysis of the Cryptographic Tools for Bockchain and Bitcoin – Режим доступа до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/1/131/htm>
16. A Review of Blockchain in Internet of Things and AI Big Data Cogn. Comput., 2020 Licensee MDPI, Basel, Switzerland
17. “ H. Wang, J. Zhang: Blockchain Based Data Integrity Verification” – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8895808>
18. B. Liu, X. L. Yu, S. Chen, X. Xu, and L. Zhu, “Blockchain based data integrity service framework for IoT data, in Proc. ICWS”, Jun. 2017.” – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8029796>

19. D. Yue, R. Li, Y. Zhang, W. Tian, and C. Peng, "Blockchain based data integrity verification in P2P cloud storage,in Proc. ICPADS", Dec. 2018 – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8644863>

20. C. Wang, S. Chen, Z. Feng, Y. Jiang, and X. Xue, "Block chain-based data audit and access control mechanism in service collaboration, in Proc. ICWS", Jul. 2019– Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8818439>
[67](#)

21. XIII Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів "Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем" (ПРІТС-2020) «ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА INTERNET OF THINGS» Режим доступу до ресурсу: <http://conferenc.its.kpi.ua/2020/paper/view/20784/10840>

22. XIII Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів "Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем" (ПРІТС-2021) «ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ДАНИХ В МЕРЕЖІ INTERNET OF THINGS» Режим доступу до ресурсу: <http://conferenc.its.kpi.ua/2021/paper/view/23215/12586>

23. XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2021" (ПТ-2021) «АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ДАНИХ В МЕРЕЖІ INTERNET OF THINGS» Режим доступу до ресурсу: <http://conferenc.its.kpi.ua/2021/paper/view/23277/12581>

ДОДАТКИ

```

from web3 import Web3
import random
import time

# Підключення до локальної або тестової мережі Ethereum
blockchain_url = "http://127.0.0.1:8545" # URL вашого Ethereum RPC сервера
web3 = Web3(Web3.HTTPProvider(blockchain_url))

# Перевірка підключення до блокчейну
if web3.is_connected():
    print("Підключення до блокчейну успішне")
else:
    print("Помилка підключення до блокчейну")

# Адреса смарт-контракту та ABI
contract_address = "0xYourContractAddressHere" # Замініть на реальну адресу
contract_abi = [
    # ABI смарт-контракту
    {
        "constant": False,
        "inputs": [
            {"name": "dataHash", "type": "string"}
        ],
        "name": "recordData",
        "outputs": [],
        "type": "function"
    },
    {
        "constant": True,
        "inputs": [],

```

```

    "name": "getData",
    "outputs": [
        {"name": "", "type": "string"}
    ],
    "type": "function"
}
]

```

Підключення до смарт-контракту

```
contract = web3.eth.contract(address=contract_address, abi=contract_abi)
```

Дані з IoT-пристрою (згенеровані випадковим чином для демонстрації)

```
def generate_iot_data():
```

```
    temperature = round(random.uniform(-10, 40), 2)
```

```
    humidity = round(random.uniform(20, 90), 2)
```

```
    timestamp = time.time()
```

```
    return {
```

```
        "temperature": temperature,
```

```
        "humidity": humidity,
```

```
        "timestamp": timestamp
```

```
    }
```

Запис даних у блокчейн

```
def record_data(data):
```

```
    account = web3.eth.accounts[0] # Вибір першого облікового запису
```

```
    data_hash = str(hash(str(data))) # Хешування даних для зберігання
```

```
    tx = contract.functions.recordData(data_hash).build_transaction({
```

```
        'from': account,
```

```
        'nonce': web3.eth.get_transaction_count(account),
```

```
        'gas': 2000000,
```

```

        'gasPrice': web3.to_wei('50', 'gwei')
    })
    signed_tx = web3.eth.account.sign_transaction(tx,
private_key="YourPrivateKeyHere")
    tx_hash = web3.eth.send_raw_transaction(signed_tx.rawTransaction)
    print(f"Дані записані у блокчейн. Хеш транзакції: {web3.to_hex(tx_hash)}")

# Читання даних із блокчейну
def get_data():
    data = contract.functions.getData().call()
    print(f"Дані з блокчейну: {data}")

# Основна програма
if __name__ == "__main__":
    # Генерація даних IoT
    iot_data = generate_iot_data()
    print(f"Дані з IoT-пристрою: {iot_data}")

    # Запис даних у блокчейн
    record_data(iot_data)

    # Отримання даних із блокчейну
    get_data()

```

Смарт-контракт для Ethereum

```

// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.0;

contract IoTTracking {
    string public dataHash;

```

```

function recordData(string memory _dataHash) public {
    dataHash = _dataHash;
}

function getData() public view returns (string memory) {
    return dataHash;
}
}

import logging

from datetime import datetime

# Налаштування логування
logging.basicConfig(
    filename="iot_blockchain.log",
    level=logging.INFO,
    format="%(asctime)s - %(levelname)s - %(message)s"
)

# Генерація кількох даних IoT-пристроїв
def generate_multiple_iot_data(count=5):
    data_list = []
    for _ in range(count):
        data = generate_iot_data()
        data_list.append(data)
    return data_list

```

Запис кількох даних у блокчейн

def record_multiple_data(data_list):

for i, data in enumerate(data_list):

try:

logging.info(f"Запис даних IoT {i + 1}: {data}")

record_data(data)

except Exception as e:

logging.error(f"Помилка запису даних IoT {i + 1}: {e}")

Аналіз даних із блокчейну

def analyze_blockchain_data(data_hashes):

try:

retrieved_data = []

for data_hash in data_hashes:

data = contract.functions.getData(data_hash).call()

logging.info(f"Отримані дані з блокчейну: {data}")

retrieved_data.append(data)

return retrieved_data

except Exception as e:

logging.error(f"Помилка аналізу даних з блокчейну: {e}")

return []

Форматування даних для виводу

def format_data(data_list):

formatted_data = []

for data in data_list:

timestamp = datetime.fromtimestamp(data["timestamp"]).strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')

formatted_data.append(f"Температура: {data['temperature']}°C, Вологість: {data['humidity']}%, Час: {timestamp}")

return formatted_data

Основна програма з розширеною функціональністю

if __name__ == "__main__":

Генерація даних IoT

iot_data_list = generate_multiple_iot_data(count=10)

print("Згенеровані дані IoT:")

for iot_data in format_data(iot_data_list):

print(iot_data)

Запис даних у блокчейн

print("\nЗапис даних у блокчейн...")

record_multiple_data(iot_data_list)

Аналіз даних з блокчейну

```
print("\nАналіз даних із блокчейну...")

retrieved_data = analyze_blockchain_data([str(hash(str(data))) for data in
iot_data_list])

# Вивід аналізованих даних

print("\nОтримані дані з блокчейну:")

for data in retrieved_data:

    print(data)
```

Демонстраційні матеріали



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО -
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО -НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ



“Система відстеження товарів на основі IoT та блокчейн”

Виконав студент 6 курсу

групи ІСДМ-61

Поночовний Олександр Вікторович

Керівник роботи

доктор філософії Герцюк Микола Модестович

Київ – 2024

- **Мета роботи** – розробка концепції інтегрованої системи відстеження товарів на основі IoT та блокчейн, яка дозволить підвищити прозорість, надійність та ефективність логістичних процесів.
- **Об'єктом дослідження** є процеси відстеження та контролю товарів у логістичних ланцюгах постачання.
- **Предметом дослідження** є методи та технології інтеграції IoT і блокчейн для створення ефективної системи відстеження товарів.

Завдання дослідження

1. Провести аналіз сучасного стану використання технологій IoT та блокчейн у логістиці.
2. Дослідити технічні аспекти створення системи відстеження товарів із використанням IoT-сенсорів та блокчейн-мережі.
3. Розробити концептуальну модель інтегрованої системи відстеження товарів.
4. Виконати моделювання роботи системи на прикладі логістичного ланцюга постачання.
5. Оцінити ефективність та переваги впровадження розробленої системи.
6. Розробити рекомендації щодо впровадження запропонованої системи в реальних умовах.

ВИМОГИ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Функціональні вимоги

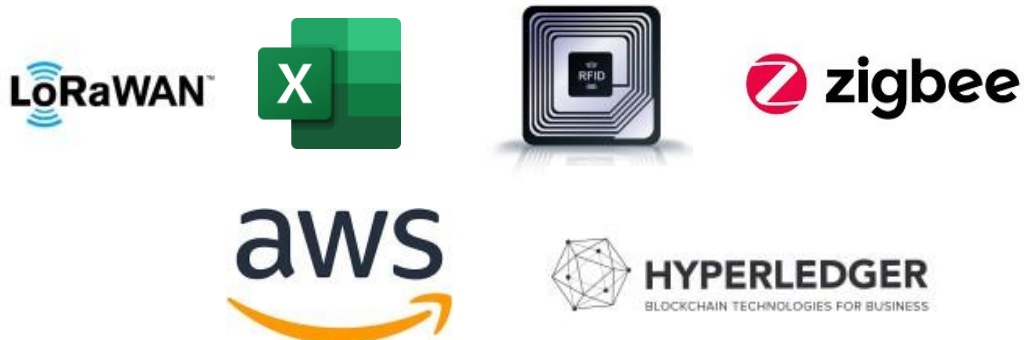
1. Забезпечення прозорості, надійності та оптимізації процесів у логістичних операціях

Нефункціональні вимоги

1. Час відповіді на запит має бути мінімальним .
2. Забезпечення високого рівня безпеки для захисту конфіденційності даних.
3. Комфортний та зрозумілий інтерфейс користувача.

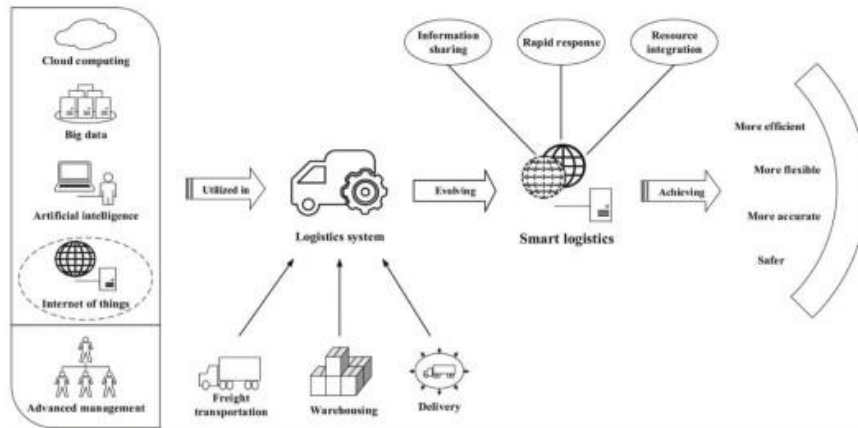
3

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ



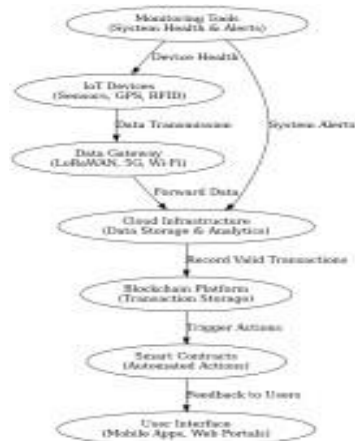
4

Концептуальна мапа системи автоматизованої логістики



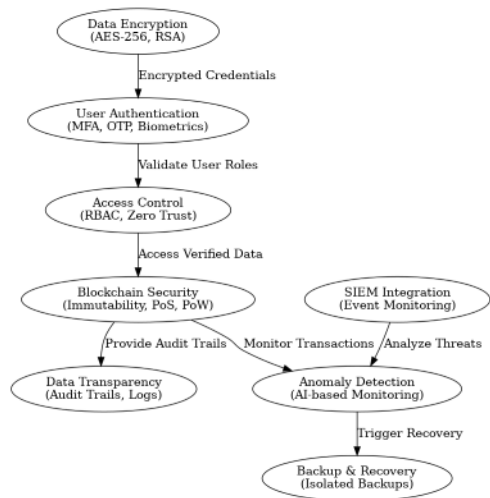
5

Діаграма реалізації



6

Діаграма забезпечення безпеки



7

Практичні приклади моделювання роботи системи

Приклад	Опис сценарію	Ключові компоненти	Переваги
Відстеження транспортування заморожених продуктів	Контроль температури в рефрижераторних контейнерах із записом даних у блокчейн. Генерація сповіщень у разі порушення умов транспортування.	IoT-датчики, шлюзи передачі даних, хмарна платформа, блокчейн, смарт-контракти	Прозорість транспортування, автоматизація сповіщень, запобігання втратам.
Забезпечення прозорості постачання фармацевтичних препаратів	Відстеження кожного етапу поставок ліків через RFID-мітки. Блокування продажу у разі порушення умов постачання.	RFID-мітки, IoT-зчитувачі, блокчейн-платформа, мобільний додаток.	Гарантія автентичності товарів, відповідність умовам транспортування.
Моніторинг великих об'єктів у будівництві	Облік доставки будівельних матеріалів із фіксацією місця та часу отримання. Попередження про нестачу ресурсів.	GPS-трекери, хмарна аналітика, блокчейн записи.	Ефективне використання ресурсів, мінімізація затримок.
Управління логістикою електронної комерції	GPS-трекінг кур'єрів із оптимізацією маршрутів доставки. Сповіщення клієнтів про місцезнаходження замовлення.	GPS-трекери, мобільний додаток, блокчейн, алгоритми оптимізації маршрутів.	Покращений сервіс для клієнтів, зниження витрат на логістику

8

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану використання технологій IoT та блокчейн у логістиці.
2. Дослідити технічні аспекти створення системи відстеження товарів із використанням IoT-сенсорів та блокчейн-мережі.
3. Розроблено концептуальну модель інтегрованої системи відстеження товарів.
4. Виконано моделювання роботи системи на прикладі логістичного ланцюга постачання.
5. Оцінено ефективність та переваги впровадження розробленої системи.
6. Розроблено рекомендації щодо впровадження запропонованої системи в реальних умовах.

9

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!