

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Використання IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних
задач

Виконав: студент IV курсу, групи СНЗс-42
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Таранніков О.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Жаровський Р.О.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 10 » червня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Тараннікову Олександрову Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач

Керівник роботи Липак Галина Ігорівна, к.н.с.к., доцент. кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » березня 2021 року № 4/7-172

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13 червня 2022р.

3. Вихідні дані до роботи Накові публікації про IoT-пристрої, Блокчейн та логістику

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. Логістичні задачі, Інтернет речей та Блокчейн. Аналіз предметної області.

1.1 Методика пошуку та аналізу публікацій. 1.2 Інтернет речей та його застосування в ланцюгах постачання. 1.3 Ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач. 1.4 Безпека Інтернету речей в логістичних задачах. 1.4 Перспективи використання Блокчейн для логістичних задач. 1.6 Висновки до першого розділу. Розділ 2. IoT-пристрої та Блокчейн для вирішення логістичних задач. 2.1 Інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн. 2.2 Масштабованість. 2.3 Безпека. 2.4 Незмінність і аудит логістичних задач. 2.5 Ефективність інформаційних потоків. 2.6 Відстежуваність і сумісність логістичних ланцюжків. 2.7 Якість в логістичних задачах. 2.8 Інтеграція, обмеження та перспективи подальших досліджень. 3. Розділ 3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Титульна сторінка. 2 Тема та мета роботи. 3 Завдання роботи. 4 Актуальність роботи. 5. Логістичні задачі. 6. Інноваційні інформаційні технології. 7. Методика пошуку та аналізу публікацій. 8. Ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач. 9. IoT для управління запасами та складські операції. 10. IoT для виробничих операцій. 11. IoT для транспортних операцій. 12. Інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн. 13. Переваги інтеграції IoT та Блокчейн по категоріях для вирішення логістичних задач. 14. Висновки. 15 Завершальний слайд.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик Олег Ярославович, доцент	04.04.2022	01.05.2022

7. Дата видачі завдання 24 січня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Таранніков О.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Використання IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Таранніков Олександр Євгенович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНЗс-42 // Тернопіль, 2022 // С. 51, рис. – 2, табл. – 5, кресл. – 15, бібліогр. – 72.

Ключові слова: безпека, Блокчейн; інтеграція, Інтернет речей, ланцюг постачання, логістика, сценарій використання.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу особливостей використання IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач. Мета роботи – підвищення рівня поінформованості про процеси постачання товарів матеріалів та ресурсів в логістичних задачах. В першому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано стан та перспективи використання Інтернету речей та Блокчейну для вирішення логістичних задач. Описана використана методика пошуку та аналізу публікацій. Висвітлено Інтернет речей та його застосування в ланцюгах постачання. Розглянуто ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач. Описано безпеку Інтернету речей в логістичних задачах. Висвітлено перспективи використання Блокчейн для логістичних задач. В другому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн. Розглянуто масштабованість IoT в логістичних задачах. Висвітлено питання безпеки IoT-пристроїв та застосунків на основі Блокчейн в логістичних задачах. Описано незмінність і аудит логістичних задач. Проаналізовано ефективність інформаційних потоків при використанні IoT та Блокчейн в логістичних задачах. Розглянуто обмеження та перспективи подальших досліджень інтеграції IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач.

ANNOTATION

Using IoT devices and Блокчейн to logistics problems solve // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Tarannikov Oleksandr Yevhenovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Computer information systems and software engineering faculty, Computer science department, Group SNzs-42 // Ternopil, 2022 // P. 51, fig. - 2, tabl. -5, chair. - 15, ref. - 72.

Keywords: security, Blockchain; integration, Internet of Things, supply chain, logistics, usage scenario.

Qualification work is devoted to the analysis of the peculiarities of the use of IoT-devices and Blockchain to solve logistics problems. The purpose of the work is to raise awareness about the processes of supply of goods, materials and resources in logistics tasks. The first section of the qualification work analyzes the state and prospects of using the Internet of Things and Blockchain to solve logistics problems. The used technique of search and analysis of publications is described. The Internet of Things and its application in supply chains are covered. Key scenarios for using IoT devices to solve logistics problems are considered. The security of the Internet of Things in logistics tasks is described. Prospects for the use of Blockchain for logistics tasks are highlighted. The second section of the qualification work analyzes innovative research areas for combining IoT with Blockchain technology. The scalability of IoT in logistics problems is considered. The issue of security of IoT devices and applications based on Blockchain in logistics tasks is covered. The immutability and audit of logistics tasks are described. The efficiency of information flows in the use of IoT and Blockchain in logistics problems is analyzed. Limitations and prospects of further research on the integration of IoT devices and Blockchain to solve logistics problems are considered.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

DAG (англ. Directed Acyclic Graph) – спрямований ациклічний граф.

DHT (англ. Distributed Hash Table) – розподілена хеш-таблиця

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

GPRS (англ. General Packet Radio Service) – загальна служба пакетного радіо.

RFID (англ. Radio Frequency IDentification) – радіочастотна ідентифікація.

WSN (англ. Wireless sensor networks) – бездротові сенсорні мережі.

ІКТ – Інформаційні та комунікаційні технології.

ІТ – Інформаційні технології.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЛОГІСТИЧНІ ЗАДАЧІ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ТА БЛОКЧЕЙН.	
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Методика пошуку та аналізу публікацій	12
1.2 Інтернет речей та його застосування в ланцюгах постачання.....	13
1.3 Ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач	15
1.4 Безпека Інтернету речей в логістичних задачах.....	19
1.5 Перспективи використання Блокчейн для логістичних задач.....	21
1.6 Висновок до першого розділу	22
РОЗДІЛ 2. ІОТ-ПРИСТРОЇ ТА БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧ.....	23
2.1 Інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн	23
2.2 Масштабованість IoT в логістичних задачах.....	24
2.3 Безпека IoT-пристроїв та застосунків на основі Блокчейн в логістичних задачах.....	26
2.4 Незмінність і аудит логістичних задач.....	27
2.5 Ефективність інформаційних потоків при використанні IoT та Блокчейн в логістичних задачах	28
2.6 Відстежуваність і сумісність логістичних ланцюжків	30
2.7 Якість в логістичних задачах	31
2.8 Інтеграція IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач, обмеження та перспективи подальших досліджень	33
2.9 Висновок до другого розділу	36
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	37
3.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек	37
3.2 Проведення інструктажів з охорони праці	39

3.3 Висновок до третього розділу	42
ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні ланцюги постачання з інноваційними логістичними задачами перетворилися на надзвичайно складні мережі цінностей і трансформувалися в життєво-важливе джерело конкурентних переваг. Проте перевіряти джерело сировини та підтримувати процеси постачання продуктів і товарів під час їх переміщення через мережу ланцюгів постачання стає дедалі складніше.

Застосування Інтернету речей (IoT) допоможе компаніям відстежувати процеси постачання продукцій та дії в логістичних мережах ланцюга створення доданої вартості. Застосування IoT-пристроїв дозволяє здійснювати оперативний моніторинг продуктів та товарів для оптимізації операцій у складському господарстві, виробництві та транспортуванні.

В поєднанні з Інтернетом речей інформаційна технологія Блокчейн допоможе забезпечити обширний перелік логістичних задач та сценаріїв їх застосування, щоб підвищити прозорість ланцюга створення вартості.

Поєднання інформаційних технологій IoT та Блокчейн розкриває потенціал підвищення ефективності сучасних ланцюгів постачання та логістичних задач. Тому аналіз особливостей використання IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач є актуальним напрямком сучасних досліджень в царині комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Мета і задачі роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення рівня поінформованості громадян про процеси постачання товарів, матеріалів та ресурсів в логістичних задачах. Для досягнення мети потрібно:

- Проаналізувати стан досліджень щодо використання інформаційних технологій Інтернету речей та Блокчейн галузі логістики.
- Сформулювати перелік ключових сценаріїв використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач.

- Сформувати перелік ключових напрямків поєднання IoT з технологією Блокчейн для вирішення логістичних задач.

- Охарактеризувати використання IoT з технологією Блокчейн для вирішення логістичних задач.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведеного аналізу наукових літературних джерел сформовано перелік ключових сценаріїв використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач. Виокремлено та подано в табличній формі перелік активаторів Інтернету речей в логістичних задачах по категоріях ключових сценаріїв використання для вирішення логістичних задач.

На основі проведеного аналізу наукових літературних джерел сформовано та подано в графічній формі перелік ключових напрямків поєднання IoT з технологією Блокчейн для вирішення логістичних задач.

Проведено аналіз та подано характеристики ключових напрямків поєднання IoT з технологією Блокчейн для вирішення логістичних задач. Сформовано таблицю переваги інтеграції IoT та Блокчейн по категоріях для вирішення логістичних задач.

РОЗДІЛ 1. ЛОГІСТИЧНІ ЗАДАЧІ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ТА БЛОКЧЕЙН. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Логістичні задачі стають все більш неоднорідними та складними через зростаючу потребу у між- та внутрішньо-організаційних зв'язках, що забезпечується досягненням сучасних технологій та тісно пов'язаними бізнес-процесами [1]. Щоб впоратися з цим динамічним середовищем і зростаючою потребою в цифровізації логістичних задач і підвищенні конкурентоспроможності, компанії застосовують нові технології, зокрема:

- «Інтернет речей» (IoT);
- хмарні обчислення;
- бізнес-аналітику;
- штучний інтелект;
- машинне навчання;
- «Блокчейн» [2].

Різноманітність технологій, які часто вводяться одночасно, а також повсюдність підключених пристроїв, які часто називають «розумними» пристроями чи речами, дозволяють партнерам по обміну (або торговельним) ланцюгам створення вартості досягти нових рівнів ефективності [3]. Зазначені інформаційні технології дозволяють змінити спосіб практичної реалізації сучасних логістичних задач за допомогою розширення процедур збору даних, обміну інформацією та аналізу процесів взаємодії між зацікавленими сторонами логістичної задачі [4].

IoT визначається як *«група інфраструктур, що з'єднують підключені об'єкти та дозволяють керувати ними, аналізувати дані та отримувати доступ до даних, які вони створюють»* [5]. Він втілює наступний етап масової цифровізації логістичних задач для сприяння «Індустрії 4.0» [6]. IoT охоплює:

- пристрої;
- давачі;

- пасивні, напівпасивні або напівактивні та активні радіочастотні ідентифікатори (RFID);

- іншу електроніку, підключену через мережу.

Разом ці технології можуть виконувати обширний перелік завдань, зокрема:

- спростереження активності, руху або температури;
- приведення та збирання;
- обробка, зберігання та обмін даними.

Наприклад, логістичні задачі постачання харчових продуктів особливо чутливі до умов навколишнього середовища під час транспортування [7] та зберігання, зокрема:

- освітленості;
- вологості;
- температури.

У холодильному ланцюзі вимірювання часу-температури за допомогою сенсорних пристроїв, підключених до бездротової сенсорної мережі (WSN), можуть допомогти зберегти якість та безпеку харчового продукту та зменшити ризик псування [8]. WSN представляють мережу або систему підключених давачів, які взаємодіють з базовою станцією через мобільні мережі 4G/5G або GPRS і інформують партнерів відповідно до ланцюжка логістичної задачі в режимі реального часу.

Зростаюче значення IoT-пристроїв відображається в його постійно зростаючому застосуванні в галузі. Зі зближенням інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) з машинною автоматизацією використання IoT набуває поширення, особливо в логістиці. Ця тенденція пояснюється збільшенням обчислювальних потужностей та зниженням вартості підключених IoT-пристроїв. Глобальна зв'язність сприятиме розвитку нових економічних можливостей і росту бізнесу, які можуть принести додаткові чотирнадцять трильйонів доларів у світовій економіці до 2030 року [9].

На даний час ланцюжки постачання та логістичні задачі зазнають революційних змін завдяки продовженню процесів цифровізації. Вони еволюціонують у мережі, що створюють вартість. При цьому ланцюжок вартості перетворюється на життєво важливе джерело конкурентних переваг. Водночас продовжуються дослідження щодо інтеграції технології Блокчейн з рішеннями IoT, що приведе до створення:

- нових структур сучасних логістичних задач;
- нових партнерських відносин;
- нових способів співпраці та створення вартості в мережах постачання товарів та матеріалів [10].

У поєднанні зазначені інформаційні технології допоможуть компаніям подолати:

- складнощі пов'язані із отриманням і цілісністю даних;
- вирішити проблеми безпеки;
- пом'якшити проблеми відстеження та зменшити асиметрію інформації.

При цьому доцільно розглянути IoT у контексті використання для практичної реалізації логістичних задач та проаналізувати різні переваги та вразливості.

1.1 Методика пошуку та аналізу публікацій

З огляду на те, що інформаційна технологія Блокчейн знаходиться на стадії зародження, наразі було опубліковано невелику кількість статей у провідних академічних журналах, що унеможливило проведення систематичного огляду літератури. Щоб врахувати останні події, доцільно «включили» «сіру» літературу до проведеного аналізу.

Потрібно здійснити наукові розвідки по наукометричних базах даних:

- «EBSCO Business Source Premier»;
- «Scopus»;
- «IEEE Xplore»;

- «ScienceDirect;
- «Google Scholar».

Водночас потрібно перевірити численні матеріали конференцій та посилання за методом «снігової кульки», щоб знайти додаткові та пов'язані матеріали. Доцільно провести пошук термінів:

- «Блокчейн*» або «Блокчейntechnologies»;
- «InternetofThings» або «IoT»;
- «ланцюг постачання*» або «логістика».

При одночасному пошуку три зазначені критерії слід комбінувати з використання операції «Логічне І».

Кожен виявлений документ потрібно перевірити на відповідність, узагальнивши при цьому основні теми. На наступному етапі потрібно об'єднати всі теми та вивести ключові дослідницькі питання.

1.2 Інтернет речей та його застосування в ланцюгах постачання

Концепцію «Інтернету речей» (IoT) вперше придумав у 1999 році британський підприємець і засновник стартапу Кевін Ештон [11]. По суті, IoT – це інформаційні мережі, які з'єднують давачі на або в фізичних об'єктах – «речах», починаючи від споживчих товарів, піддонів із товарами до повсякденних інструментів, побутових приладів та промислового обладнання [12].

При цьому неодноразово використовуються:

- інформаційні технології хмарних обчислень;
- новітня концепція туманних обчислень – децентралізована обчислювальна структура.

Вона розширює концепцію хмарних обчислень за рахунок локальної продуктивності обчислень, зберігання та зв'язку через «пограничні пристрої». При цьому забезпечуються обчислювальні ресурси та масштабованість. для

підключення, зберігання та аналізу IoT-даних. Зазвичай це «великі дані», отримані від підключених пристроїв і джерел, зокрема дані:

- WSN;
- глобальні системи позиціонування (GPS);
- GPRS;
- географічні інформаційні системи (GIS).

Аналіз отриманих від Інтернету речей даних зможе допомогти фірмам установам та організаціям проаналізувати оперативну ситуацію та відреагувати на її зміну в режимі реального часу. Це дозволить підвищити рівень автоматизації та розширення можливостей прогнозової аналітики [13].

Завдяки підключенню різноманітного набору апаратних пристроїв та датчиків IoT дозволяє оптимізувати важливі бізнес-процеси за рахунок підвищення ефективності процесів збору даних, ідентифікації людей-операторів та оперативного спостереження змін середовища:

- температури;
- вологості;
- вібрації;
- повітряних потоків тощо.

IoT-пристрої часто використовуються для спостереження фізичного світу, взаємодіючи при цьому за допомогою бездротових сигналів та спрацьовуючи на основі заздалегідь визначених умов. За даними [14] трьома ключовими характеристиками IoT є:

- контекст;
- повсюдність;
- оптимізація.

Контекст описує здатність Інтернету речей забезпечувати моніторинг в режимі реального часу, взаємодіяти, реагувати та контролювати конкретні ситуації. Повсюдність полягає в поширеності інформаційної технології та її широкому застосуванні, зокрема, оптимізація конкретних функціональних можливостей і характеристик, які має кожен фізичний об'єкт [15].

За даними, опублікованими Лі [16], існує п'ять важливих IoT-технологій, які переважно використовуються в логістиці. Зокрема:

- RFID;
- бездротові сенсорні мережі (WSN);
- проміжне програмне забезпечення;
- хмарні обчислення;
- прикладне програмне забезпечення для IoT.

Як правило, IoT-застосунки розміщуються в «хмарі» та доступні через мобільні інтерфейси чи програми на смартфонах, планшетах або настільних комп'ютерах [17]. Ці програми покращують взаємодію «машина-машина» та «людина-машина», що забезпечує безперебійну обробку даних та своєчасну передачу інформації.

1.3 Ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач

Використання Інтернету речей дозволяє покращення продуктивності ланцюгів постачання та ефективності виконання логістичних задач. Сфери логістичних задач, які отримують користь від розгортання IoT:

- управління запасами та складські операції;
- виробничі операції;
- транспортні операції.

Переваги досягаються завдяки обміну інформацією в реальному часі та зменшенню часових витрат [18].

Інтернет речей допоможе зменшити ризики підробки та незаконної торгівлі в поєднанні з прихованими, явними або криміналістичними функціями безпеки на фізичних продуктах. Інтернет речей вже спричинив революцію в ланцюгах постачання та логістичних задачах, покращуючи операційну ефективність і створюючи нові можливості для отримання доходу [19].

В таблиці 1.1 подано перелік активаторів Інтернету речей в логістичних задачах для категорії управління запасами та складськими операціями.

Таблиця 1.1 – Активатори Інтернету речей в логістичних задачах для категорії управління запасами та складськими операціями

Активатори	Процеси
Розумні стелажі	– Оптимізація маршруту. – Усунення колізій в процесі. – Швидкі, економічні та гнучкі операції. – Краще поводження з важкодоступними предметами або «темними активами», тобто предмети, які важко виявити на полицях або стелажах.
Розумні окуляри	– Спостереження рівня запасів у режимі реального часу. – Уникнення нестачі.
Камери моніторингу	
Розумні навантажувачі	– Оперативне та швидке реагування на недоліки. Наприклад, неправильне розміщення предметів. – Моніторинг робочого простору. Наприклад, з метою безпеки. – Розпізнавання та локалізація одиниць зберігання запасів. Наприклад, палет.
Розумний склад	
Система управління	– Одночасне виявлення загроз і сканування на наявність недоліків.

ІоТ відкриває шлях до «розумнішого» управління запасами. При цьому ключові процеси в складських операціях можна оптимізувати, зменшити витрати на оплату праці та покращити пропускну здатність [20]. Технічні засоби включають розумні вилкові навантажувачі та стелажі, нове використання «розумних окулярів», тобто носимих пристроїв, оснащених

давачами та технологіями камер для визначення місця розташування об'єктів на складі, камер моніторингу та програмного забезпечення для автоматизації процесів зберігання.

В таблиці 1.2 подано перелік активаторів Інтернету речей у ланцюгах постачання для категорії виробничі операції.

Таблиця 1.2 – Активатори Інтернету речей в логістичних задачах для категорії виробничі операції

Активатори	Процеси
Вбудовані давачі	– Моніторинг стану в режимі реального часу. – Дистанційне обслуговування.
Машинна аналітика	– Прогнозне обслуговування: виявлення рівнів фізичного стресу, скупчення, і запобігання збоям. – Покращене вимірювання пропускної здатності, часу налаштування і загальної продуктивності.
	– Покращення взаємодії між машиною та людиною.

Виробництво є другою сферою, яка отримає вигоду від впровадження IoT-пристроїв. Промислові машини з вбудованими давачами можна контролювати в режимі реального часу та керувати ними за допомогою «розумних» інструментів:

- мікрокомп'ютерів
- мікропроцесорів
- інтелектуальних давачів.

Уоллер і Фосетт [21] зазначають, що використання Інтернету речей призводить до збільшення гнучкості та проактивності в компанії, дозволяючи швидко ідентифікувати машинні помилки та забезпечуючи прогнозне обслуговування. Як наслідок, розширене розуміння ключових виробничих

процесів дозволить посилити співпрацю та взаємодію з постачальниками [22], а також покращити взаємодію «машина-машина» та «машина-людина».

В таблиці 1.3 подано перелік активаторів Інтернету речей у ланцюгах постачання для категорії виробничі операції.

Таблиця 1.3 – Активатори Інтернету речей в логістичних задачах для категорії транспортні операції

Активатори	Процеси
GPRS давачі RFID давачі	Постійна видимість продуктів уздовж ланцюга постачання.
	Відстеження відправлення в режимі реального часу.
	Дистанційне визначення продукту (наприклад, температура, вологість, вібрації). Захист і збереження якості продукції.
Маршрутизатори Супутники, GPS	Покращте вузькі місця діяльності та рух на вулиці, мобільність транспорту, безпеку доріг і водіїв.
	Максимізація паливної ефективності та оптимізація стратегій маршрутів.
	Покращене надання послуг.

IoT також може надати потенційні переваги для транспортної діяльності в логістичних задачах. Наприклад, програмно-алгоритмічні рішення з IoT-підтримкою створюють чітко визначену та налаштовану систему керування транспортом (TMS) або «розумну» TMS [14]. Набір IoT-пристроїв може допомогти трансформувати транспортні процеси та збільшити гнучкість та ефективність операцій. GPS допомагає позиціонувати рефрижераторні вантажівки з віддалених логістичних центрів та оптимізувати маршрут та час доставки, зберігаючи при цьому якість продукції [23]. GPS, RFID, та інші підключені давачі покращують видимість під час транспортування за рахунок оперативного відстеження температури та вологості. А також завдяки точній

локалізації транспортних засобів на дорогах загального користування або на транспортних терміналах за допомогою великомасштабного картографування, збору та аналізу даних про трафік. Дані, зібрані з IoT-пристроїв, допоможуть покращити прогнозування часу доставки, доступності транспортного флоту та ефективності маршрутизації [21].

1.4 Безпека Інтернету речей в логістичних задачах

IoT має великий інформаційно-технологічний потенціал для з'єднання непідключених пристроїв та може допомогти суттєво оптимізувати логістичні задачі та ланцюги постачання [24]. Він вирішує ряд логістичних задач, включаючи зростаючу потребу бізнесу в підвищенні прозорості інформації ланцюгів постачання, покращенні показників цілісності виробничих даних та ідентичності продуктів. В результаті потрібні товари та продукти будуть ефективно доставлені [14] в:

- потрібний час;
- місце;
- зазначеній кількості;
- необхідному стані;
- з оптимальною вартістю.

Однак, оскільки IoT-пристрої будуть генерувати великі за обсягом набори даних по всьому ланцюжку постачання логістичної задачі, то ці дані зазвичай зберігаються в сутностях, які, як правило, недостатньо використовуються та самі по собі не можуть забезпечити подання необхідної для бізнесу інформації в режимі реального часу. Тому, сховища логістичних даних можуть слугувати джерелами даних для аналітичного опрацювання, пошуку потенційних бізнес-інсайтів та формування доданої інформаційної цінності.

В короткочасовій перспективі потрібно вирішити ряд безпекових питань в контексті інтеграції IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач [25]:

- довіру до IoT-пристроїв;

- контроль доступу;
- цілісність даних;
- фізичне втручання;
- конфіденційність користувачів.

Сучасні дослідження показали, що понад 70% IoT-пристроїв мають уразливості безпеки [16] через:

- відсутність ефективних алгоритмів шифрування;
- незахищені інтерфейси;
- поганий захист програмного забезпечення;
- неналежну авторизацію.

Обговорюючи різні проблеми безпеки та конфіденційності, Кам-Вінджет [24] стверджує, що сучасні безпекові рішення для IoT-пристроїв є неадекватними через проблеми масштабованості для обробки та аналізу даних, що передаються з великих за розміром мереж гетерогенних пристроїв і потреби задовольняти обширний перелік вимог в режимі реального часу.

Звичайні підходи до безпеки та конфіденційності вважаються непридатними для екосистем Інтернету речей через їхню динамічну топологію та розподілений характер. Оскільки окремі сервери можуть бути єдиною точкою збою для кібератак і фізичного пошкодження то поточна архітектура Інтернету з її серверною інфраструктурою може не впоратися з великою кількістю IoT-пристроїв та великими обсягами даних. IoT-пристрої піддаються ризику DoS та DDoS-атак, крадіжки даних і віддаленого захоплення.

Марджані [26] стверджує, що деякі системи Інтернету речей не мають ефективних реалізацій угод про рівень обслуговування для захисту персональної інформації, які зазвичай вимагаються законами про забезпечення конфіденційності інформації. Це може негативно вплинути на цілісність і безпеку даних і призвести до негативних наслідків для захисту конфіденційності окремих громадян та цілих компаній [27].

1.5 Перспективи використання Блокчейн для логістичних задач

Авторами [28] сформульовано означення Блокчейн *«цифровий, децентралізований і розподілений реєстр, у якому транзакції реєструються та додаються в хронологічному порядку з метою створення постійних записів із захистом від несанкціонованого доступу»*. По суті, це новий механізм для зберігання, захисту та обміну даними між вузлами мережі [29].

Блокчейн відходить від традиційного централізованого підходу, керуючи даними ланцюгів логістичних задач через розподілену та взаємопов'язану мережу вузлів. Основні характеристики Блокчейн [30]:

- спільне ведення записів;
- незмінність;
- децентралізація;
- розподілена довіра;
- багатосторонній консенсус;
- незалежна перевірка;
- докази несанкціонованого доступу;
- стійкість до несанкціонованого доступу.

Термін «Блокчейн» набув популярності як результат комбінації налаштованих технологій, інструментів і методів, що лежать в основі криптовалюти «Біткойн». Сам по собі «Біткойн» – це децентралізована цифрова валюта, заснована на відкритій системі комп'ютерних мереж і протоколів онлайн-зв'язку [31].

Блокчейни можна налаштувати на шифрування для зберігання даних у ланцюжку або поза ланцюгом та запису транзакцій з відповідними мітками часу. Вони можуть автоматизувати процеси укладання угод завдяки використанню смарт-контрактів для процедур на основі набору наперед погоджених умов і правил [32].

Інформаційно-технологічна платформа Блокчейн може підтримувати багатосторонні обмінні відносини в глобальних ланцюгах логістичних задач на

основі аутентифікації ідентифікаторів учасників процесів, водночас дозволяючи їм доступ та покращуючи процедури обліку транзакцій. Ця можливість забезпечується за допомогою криптографічних механізмів і рекурсивного хешування блоків. Кожен блок містить заголовок та тіло. Останній блок містить хеш попереднього блоку з'єднуючи окремі блоки в ланцюжок. Будь-яка спроба втрутитися в блок вимагає, зміни заголовків попередніх послідовних блоків з метою уникнення виявлення. Це стає все важче підробити, оскільки ланцюжок динамічно стає довшим.

Поширеність і розподілений характер характеризують мережі IoT, тому централізований підхід до збору, зберігання та аналізу всіх відповідних даних ланцюга постачання логістичної задачі може спричинити затримки та призвести до ситуації, яку часто називають єдиною точкою збою. Тому, Блокчейн має нерозкритий інформаційно-технологічний потенціал для вирішення вищеописаних безпекових аспектів логістичних задач та дозволить надати партнерам по обміну в ланцюгах постачання логістичних задач довіру на основі децентралізації [33]. Відсутність централізованого контролю Блокчейн забезпечує високий рівень масштабованості та надійності за рахунок використання ресурсів усіх задіяних вузлів та виключення потоків трафіку на основі моделі «багато-в-одному» [34].

1.6 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» проаналізовано стан та перспективи використання Інтернету речей та Блокчейну для вирішення логістичних задач. Описана використана методика пошуку та аналізу публікацій. Висвітлено Інтернет речей та його застосування в ланцюгах постачання. Розглянуто ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач. Описано безпеку Інтернету речей в логістичних задачах. Висвітлено перспективи використання Блокчейн для логістичних задач.

РОЗДІЛ 2. ІОТ-ПРИСТРОЇ ТА БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧ

2.1 Інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн

Блокчейн дозволяє децентралізовано об'єднувати великі за обсягом набори даних, які генеруються IoT-пристроями що використовуються в процесі вирішення логістичних задач. Тому доцільно проаналізувати опубліковані на даний час результати досліджень на перетині між IoT і технологією Блокчейн (див. рисунок 2.1) по категоріях [35]:

- масштабованість;
- безпека;
- незмінність та аудит;
- ефективність інформаційних потоків;
- відстежуваність та сумісність;
- якість.

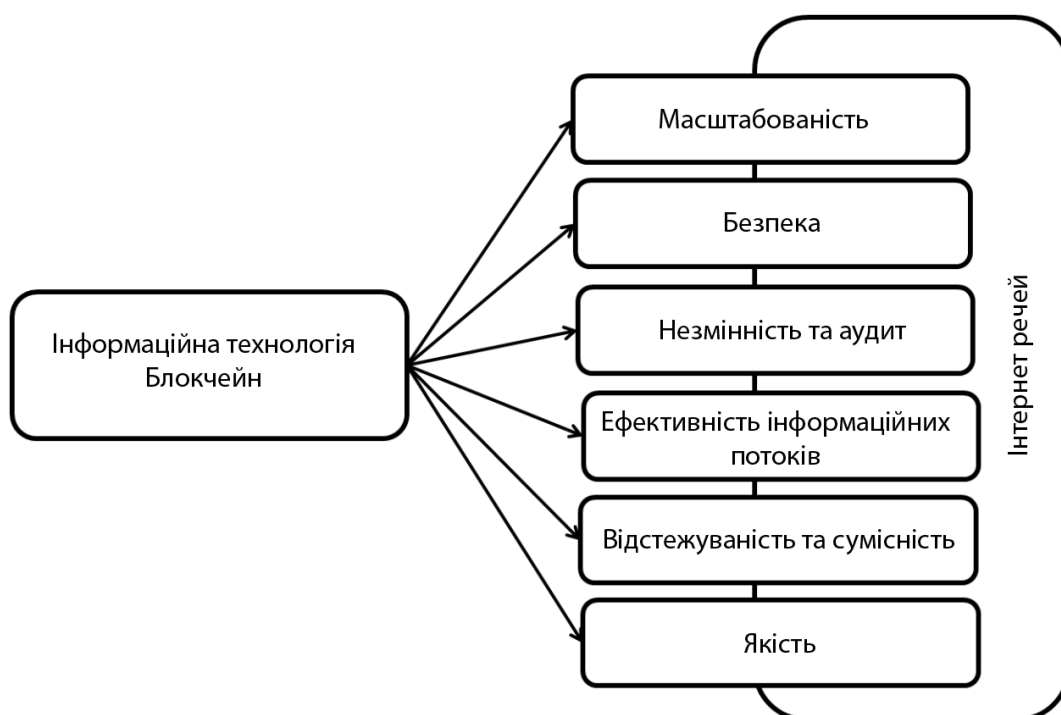


Рисунок 2.1 – Вплив інформаційної технології Блокчейн на характеристики IoT

2.2 Масштабованість IoT в логістичних задачах

На відміну від криптовалютних майнінгових вузлів, IoT-пристрої та давачі, мають обмежені обчислювальні можливості, які важко та дорого покращити [36]. Для задоволення вимог до масштабованості Інтернету речей у логістичних задачах розроблено та представлено ряд Блокчейн застосунків. В залежності від галузі, механізми консенсусу та структури Блокчейн-застосунки можуть бути умовно-сумісні з IoT-пристроями. Тому приватні або консорціумні Блокчейн-структури є корисними для обширного переліку застосунків при вирішенні логістичних задач. Оскільки вони мають обмежену кількість вузлів та можуть застосовуватись для фільтрації даних Інтернету речей при підвищенні масштабованості блокчейну. Застосунки можуть інтегруватись в IoT-мережі за допомогою смарт-контрактів та забезпечити розширеної масштабованої обчислювальної потужності обсягом десятки тисяч транзакцій на секунду [37].

Блокчейн-архітектура, що розвивається, призводить до появи «поза ланцюгових» програмно-алгоритмічних рішень масштабування. Серед них так звані бічні ланцюги. Які є ланцюжками, що працюють паралельно Блокчейн та дозволяють процедури взаємного обміну даними [38]. Постійно зростаючі дані, які генеруються IoT-пристроями в логістичних задачах, можуть бути зашифровані та збережені в бічних ланцюгах, а посилання на них можна додати в основний Блокчейн. Зазначений функціонал допомагає значно зменшити складність сховища, водночас вивантажуючи дані щодо оброблених транзакцій з Блокчейну [39].

Хоча на даний час процедури комунікації між Блокчейн-структурами знаходяться на зародковому етапі з відсутністю стандартів взаємодії. Проте перспектива їх розвитку дозволить забезпечити вищий рівень масштабованості [40]. Транзакції, що можуть виконуватись в логістичних задачах:

- системи швидкого платежу;
- масовий продаж;

- розповсюдження токенів;
- передача цифрових активів;
- генерація ідентифікаторів.

Моделі поза ланцюгом розширюють сферу використання Блокчейн, створюючи мережі, що виконують окремі функції в їх межах. Водночас вони локалізують певні операції за межами Блокчейн-систем [41], зокрема:

- позамережні смарт-контракти;
- необроблені файли сторонніх сертифікатів безпеки, якості або віросповідання (наприклад, HACCP, BRC, Halal, Kosher);
- результати аналітичного опрацювання сторонніх розробників;
- записи про якість.

Налаштований блокчейн можна адмініструвати в централізованій базі даних (наприклад, MySQL) або на основі інформаційної технології розподіленої хеш-таблиці (DHT) [42]. Тому поза ланцюгом транзакції виконуються швидше, а масштабованість підвищується [43].

IoT-застосунки з підтримкою Блокчейн в для вирішення логістичних задач розвивають специфічні мережні характеристики IoT, зокрема:

- неоднорідність;
- динамічна топологія;
- складність;
- масштабованість;
- пропускна здатність;
- розмір пам'яті.

Ці методи спрямовані на підвищення масштабованості за рахунок зміни основних елементів Блокчейн-транзакції для вирішення логістичних задач, зокрема:

- збільшення розміру блоку;
- використання нових або специфічних полегшених мережних протоколів для IoT-пристроїв [44];

- прийомів шардингу – розділення роботи між підмножинами вузлів з метою збільшення пропускної здатності [45];

- редаговані блокчейни [46];

- спрямований ациклічний графік (DAG) [47].

Збільшення розміру блоку загальнодоступних Блокчейнів може додатково підвищити масштабованість логістичних задач і запропонувати додаткові можливості зберігання та обробки. Але це може сповільнити швидкість поширення блоків у мережі. Розробка масштабованих протоколів Блокчейн для IoT-застосунків в логістичній галузі [48] зможе значно покращити масштабованість та гнучкість Блокчейн-систем.

Підсумовуючи вищеподане зробимо висновок, що інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на масштабованість програмно-алгоритмічних рішень на основі IoT для вирішення логістичних задач.

2.3 Безпека IoT-пристроїв та застосунків на основі Блокчейн в логістичних задачах

Зі збільшенням складності ланцюгів постачання і розширенням відносин з партнерами, фірми змушені захищати процеси обміну даними та інформацією. При цьому потрібно забезпечити цілісність своїх об'єктів, щоб захистити від крадіжки та різних форм незаконної торгівлі, вилучення та підробки.

Компанії повинні йти в ногу з безперервним розвитком прихованих, відкритих та криміналістичних технологій для захисту або моніторингу фізичних об'єктів логістичної задачі в ланцюгу постачання. Тому IoT та Блокчейн – це дві новітні інформаційні технології, які можуть підвищити продуктивність та забезпечити цілісність ланцюгів постачання при вирішенні логістичних задач. Дослідники розглядають [49] поєднання інформаційних технологій Блокчейн та Інтернету речей, як значну інноваційну трансформаційну потужність в суміжних з логістикою галузях, оскільки вона формує перспективний шлях для ефективного керування IoT-пристроями [50].

Поєднання Блокчейн та IoT створює більш стійку, чуйну та розподілену однорангову систему з можливістю взаємодії між партнерами по обміну ланцюгами постачання в логістичних задачах «ненадійно», безпечно та в режимі реального часу [51]. Інформаційні системи з підтримкою Блокчейн здатні трансформувати потенційні переваги Інтернету речей і подолати розрив у взаємодії пристроїв з даними, водночас зберігаючи безпеку, конфіденційність та надійність.

Блокчейн полегшує вирішення безпекових задач, притаманних IoT-пристроєм та мережам [50], зокрема:

- унікальна ідентифікація пристрою;
- управління довірою між різними пристроями;
- відстеження походження даних та інформації аж до авторитетного джерела даних та джерела зберігача;
- аутентифікація та контроль доступу;
- підзвітність в IoT-застосунках.

Механізм безпеки в Блокчейн-системі зменшує ризик єдиної точки збою завдяки використанню підходу до децентралізації. Інформаційна технологія Блокчейн допомагає усунути ризик збою та крах мережі при збоях вузла. Вудсідітал [52] зазначає, що інформаційна технологія Блокчейн може сприяти захисту ланцюгів постачання в логістичних задачах від переважної більшості зловмисних атак. Підсумовуючи вищеподане зробимо висновок, що інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на безпеку IoT-застосунків при вирішенні логістичних задач.

2.4 Незмінність і аудит логістичних задач

Інтеграція інформаційної технології Блокчейн з IoT-пристроєм при вирішенні логістичних задач сприяє автоматизації ланцюгів постачання та створює екосистему на основі незмінних транзакцій, які дозволяють покращити аудит. Партнери по обміну ланцюгами постачання в логістичних задачах

виграють від комбінованого застосування Блокчейн та IoT завдяки безпечному та керованому аудиту процесів обміну транзакційними даними в надзвичайно різноманітному та контекстно-залежному інформаційно-технологічному середовищі [35]. При підключенні до мережі логістичних задач «розумні» пристрої Інтернету речей можуть послідовно та автономно передавати дані на Блокчейн-платформу, створюючи при цьому незмінну історію транзакцій. Вона піддається ефективним процедурам перевірки та корисна для:

- відстеження продуктів та матеріалів;
- відкликання запитів на доставку;
- відстеження етапів переміщення продуктів та матеріалів;
- аутентифікації.

Тому інформаційна технологія Блокчейн забезпечує можливість детального аудиту. При цьому оперативні покази давачів зможуть забезпечити додаткову зону довіри, що включає дані в режимі реального часу та незмінні дані. Ці характеристики привернули увагу обширного кола розробників та постачальників IoT-технологій, які адаптують свої мережеві програмно-алгоритмічні рішення на основі IoT-пристроїв до інформаційних технологій на основі Блокчейн [35].

Тому зробимо висновок, що інформаційна технологія змінюваного Блокчейн створює нові сценарії розгортання застосунків для використання та керування Інтернетом речей в логістичних задачах.

2.5 Ефективність інформаційних потоків при використанні IoT та Блокчейн в логістичних задачах

Блокчейн-застосунки створюють нові можливості щодо відстеження фізичних активів і товарів у багатосторонніх ланцюгах постачання при вирішенні різнотипових логістичних задач. Перевірені партнери по обміну ланцюгами постачання логістичних задач будуть проінформовані про відповідні активи, продукти або товари, онлайн, під час транспортування чи в

магазині [41]. Отримавши інформацію про рух матеріальних активів, сировини або інгредієнтів, компонентів або кінцевих споживчих продуктів, фірми краще контролюють свої ланцюги постачання при вирішенні логістичних задач.

В короткочасовій перспективі фірми ще більше полегшуватимуть доступ споживачів до пов'язаної з продукцією інформації, за допомогою онлайн-сервісів або мобільних застосунків. Споживачі можуть використовувати смартфон, щоб відсканувати штрих-код або QR-код на первинній упаковці товару чи продукту та отримати доступ до відповідних даних та інформації, записаних з використанням Блокчейн-систем [53], зокрема:

- інформація про продукт та бренд;
- алергени;
- інгредієнти;
- походження продукту;
- простежуваність;
- метод обробки;
- транспортування;
- шлях на ринок тощо.

При цьому буде надійно забезпечено:

- здатність постачальника продукту гарантувати автентичність транзакцій;
- записувати та надавати відкритий звіт про передачу права власності.

Не менш важливо, що поєднання інформаційних технологій Блокчейн та IoT забезпечує надійну обчислювальну інфраструктуру для покращення управління інформацією в ланцюжках постачання при вирішенні логістичних задач, узгоджуючи юридичні угоди та забезпечуючи зберігання ідентифікаційних даних IoT-пристроїв на всіх етапах життєвого циклу продукції [54]. Критичні порогові дані, отримані за допомогою давачів та збережені в Блокчейн, корисні для:

- управління виробничим обладнанням;
- прогнозування збоїв;

- планування відповідного превентивного ремонту та технічного обслуговування до виникнення поломок.

Очікується, що інтеграція інформаційних технологій Блокчейн з IoT при вирішенні логістичних задач стане каталізатором розширення:

- віддаленої діагностики транспортних засобів;
- віддаленої діагностики машин та механізмів;
- комплексної аналітики даних [55];
- взаємодії між машиною та постачальником

Це призведе до покращення процесів заміни запасних частин та загальної практики технічного обслуговування [56].

Тому зробимо висновок, що інформаційна технологія блокчейн позитивно впливає на ефективність і цілісність інформаційних потоків інформаційно-технологічних IoT-рішеннях для вирішення логістичних задач.

2.6 Відстежуваність і сумісність логістичних ланцюжків

Інформаційна технологія блокчейн вже використовується в поєднанні з RFID-мітками, що захищають від несанкціонованого доступу, щоб допомогти у перевірці походження. Наприклад, географічне джерело або походження та автентичність товарів та продукції. Бирки наклеюються на виріб і призначені для виключення спроб підмінити автентичні вироби дешевшою продукцією. Зареєструвавши дані в Блокчейні та перевіривши простежуваність і походження виробів, споживачі можуть перевірити історію та справжність придбаної продукції, ввівши ідентифікатор продукту в систему [57].

Слід зазначити, що абсолютної впевненості в автентичності будь-якого продукту чи напою можна досягти лише за допомогою науково обґрунтованих методів його аналітичного тестування. Тому не можна повністю покладатись на явні чи приховані елементи захисту на зовнішній упаковці.

Мережі Інтернету речей на основі Блокчейну забезпечать безпечну взаємодію між давачами, розподіленими реєстрами та базами даних, щоб

оптимізувати видимість ланцюга постачання логістичної задачі та забезпечення якості [58]. Враховуючи подане зробимо висновок, що інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на відстеження та сумісність розроблених та перспективних для логістичних задач IoT-застосунків.

2.7 Якість в логістичних задачах

Забезпечення децентралізованого шляху міграції для IoT-даних завдяки інтеграції інформаційної технології Блокчейн вирішує проблему якості даних та інформації, яка існує в інших інформаційних технологічних платформах. Це доповнює потребу в підтримці процедур визначення походження даних [59], які описують характеристики даних:

- походження;
- зацікавленість;
- права власності;
- які перетворення були зроблені.

Розміщені в Блокчейн метадані, захищені від компроментування та несанкціонованого розкриття. Інформаційна технологія Блокчейн підходить для розподіленого хмарного сховища. Змішування інформаційних технологій з середовищем може призвести до покращення хмари походження даних, коли вузли записують в інформаційну систему дані через розподілену мережу з відмовною книгою та надійною криптографією [60].

«Блокова хмара» – це комбіноване використання Блокчейн та хмарних обчислень – відкриває шлях до самостійного управління даними та володіння ними, надаючи приватний та контекстний доступ до IoT-даних, розміщених на різних рівнях хмарних сервісів. Розширюючи можливості Інтернету речей завдяки інтеграції інформаційної технології Блокчейн їх можна об'єднати із застосуванням великих за обсягом даних для використання в ланцюгах постачання логістичних задач. Це полегшить перехід ланцюгів постачання від

відокремлених цифрових технологій до цифрових технологій орієнтованих на процесах [61].

Однак, на даний час в розглянутів інфраструктурній інформаційно-технологічні інтеграції все ще існує ряд недоліків. Зокрема, великі за обсягом набори даних часто зустрічаються з критичними проблемами діяльності [62], зокрема:

- керування та моніторинг структури даних, коли залучено кілька сторінок;
- надійність даних
- монетизація даних – передача права власності на систему та обмін в універсальний ринок даних.

Інформаційна технологія Блокчейн [63] може бути використана для:

- збільшення рівня контролю над даними в ланцюгах постачання при вирішенні логістичних задач на основі IoT-пристроїв та систем;
- забезпечення цілісності та незмінності даних;
- створення ринку логістичних задач та послуг що надаються на основі IoT-пристроїв.

Інформаційні системи з використанням великих за обсягом даних на основі Блокчейн дозволять покращити процеси агрегації IoT-даних, що надходять з розрізнених джерел по всьому ланцюжку постачання при вирішенні логістичних задач. При цьому буде створено ефективнішу екосистему обміну даними з покращеною аналітикою бізнес-процесів та підтримкою процесів прийняття рішень при вирішенні логістичних задач.

Тому розглянутий в кваліфікаційній роботі освітнього рівня «Бакалавр» інформаційно-технологічний блок позитивно впливає на показники якості та цілісності програмно-алгоритмічних та менеджерських рішень для логістичних задач.

2.8 Інтеграція IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач, обмеження та перспективи подальших досліджень

Інформаційна технологія блокчейн активно розвивається та інтегрується в глобальні ланцюги постачання при вирішенні логістичних задач і демонструє великий потенціал для використання в Інтернеті речей. При цьому відбуватиметься покращення сумісності та процедур управління IoT-пристроями. Партнери по обміну ланцюгами постачання для вирішення логістичних задач можуть отримати обширний перелік переваг від такої інтеграції. Експоненційне поширення IoT-пристроїв покращує зв'язок всередині та між організаціями, створюючи при цьому великі за обсягом колекції цінних даних. Водночас розробники інформаційно-технологічних платформ та систем [64] прагнуть ефективно вирішити завдання:

- безпеки;
- нагляду;
- конфіденційності;
- довіри;
- прозорості.

Працюючи на платформах розподілених цифрових Блокчейн-реєстрів, партнери по обміну ланцюгами постачання для вирішення логістичних задач отримують користь від нової форми управління, покращеної прозорості інформації та покращення цілісності даних IoT-транзакцій. Під час фізичного транзиту виробів та сировини через ланцюги постачання для вирішення логістичних задач IoT-пристрої можуть отримувати і передавати до Блокчейн-мережі дані, що стосуються конкретних функцій, наприклад:

- відстеження продукту;
- моніторинг транспортних засобів;
- давачів навколишнього середовища.

Розподілені Блокчейн-реєстри забезпечать процедури зберігання даних і зростання функцій контролю для партнерів по обміну ланцюгами постачання

при вирішенні логістичних задач. Аналітичні інструменти допоможуть видобувати бізнес-інсайт із зібраних даних в режимі реального часу. Водночас дозволяючи компанії швидше відслідковувати та реагувати на зміни та аномалії ланцюга постачання при вирішенні логістичних задач.

Блокчейн полегшує взаємодію між сутностями, коли давачі та IoT-пристрої, підключені до машин та механізмів, будуть синхронізовані. Це підвищує гнучкість співпраці з партнерами по обміну даними, забезпечує зв'язок, підвищує конфіденційність та цілісність обмінних транзакцій. Користувачі можуть здійснювати транзакції з машинами безпосередньо та приймати участь у виробничих послугах на вимогу, надсилаючи транзакції на зареєстровану машину [65]. Розподілені реєстри на основі інформаційної технології Блокчейн, які використовують розумні контракти, дозволяють інтегрувати бізнес-логіку для широкого спектру цілей, зокрема:

- умови оплати;
- прийняття продукту;
- розумне поповнення запасів;
- прогнозне обслуговування та ремонт.

Поєднуючи інформаційні технології Блокчейн та IoT, партнери по обміну отримують нове та своєчасне уявлення про конкретний ланцюжок постачання для окремої логістичної задачі в режимі реального часу з точнішою та надійнішою інформацією про ключові процеси, події та атрибути фізичних сутностей, зокрема, їх якість, продуктивність та доступність. Поєднання інформаційних технологій IoT та Блокчейн допоможе покращити наскрізне відстеження та забезпечити швидке відкликання небезпечних товарів [31]. В результаті партнери по обміну будуть проінформовані про матеріали та продукти, потенційні ризики, запобіжні та коригувальні дії, необхідні для підтримки достатнього потоку безпечних поставок до кінцевих споживачів.

Поєднання керованих IoT-пристроями даних, інформаційної технології Блокчейн та мобільності дозволяє відобразити фізичні активи у формі цифрової активності на різних етапах їх життєвого циклу [66]. При цьому ланцюжки

постачання для логістичних задач повинні адаптуватися до нових правил і форм управління, сформованих особливостями нових інформаційних технологій, та повинні бути створені нові правила для вирішення конкретних логістичних ситуацій [67]. Наприклад, проблема синхронізації між Блокчейном та IoT-сенсорами в холодному ланцюжку залишає багато відкритих питань щодо того, хто буде нести юридичну відповідальність за будь-які випадки, пов'язані з подорожжю продукту в закордонних умовах. Те ж саме стосується занепокоєння щодо смарт-контрактів, які використовуються в комбінації Блокчейн-IoT. Наприклад, залежність від «поза мережових» ресурсів, ненавмисні помилки програмування, конфлікти між юрисдикціями [68]. В кваліфікаційній роботі освітнього рівня «Бакалавр» визначено різні сфери поєднання IoT та Блокчейн для вирішення логістичних задач. В таблиці 2.1 подано окреслені в попередніх параграфах підсумки.

Таблиця 2.1 – Переваги інтеграції IoT та Блокчейн по категоріях для вирішення логістичних задач

Переваги інтеграції	Категорія
1	2
Інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на масштабованість IoT-застосунків.	Масштабованість
Інформаційна технологія блокчейн позитивно впливає на безпеку IoT-застосунків.	Безпека
Незмінність інформаційної технології Блокчейн позитивно впливає аудит IoT-застосунків.	Незмінність і аудит
Інформаційна технологія змінюваного Блокчейну створює нові сценарії застосунків для використання та керування Інтернетом речей.	
Інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на відстеження та сумісність IoT-застосунків.	Відстежуваність і сумісність

Продовження таблиці 2.1

1	2
Інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на ефективність та цілісність інформаційних потоків IoT-застосунків.	Ефективність та ефективність інформаційного потоку
Інформаційна технологія Блокчейн позитивно впливає на якість і цілісність IoT-застосунків.	Якість

Доцільно зазначити, що існує ряд обмежень та невирішених проблем, пов'язаних з інтеграцією Блокчейн в IoT-середовищі при вирішенні логістичних задач [30]. Посилене зростання складності IoT-інфраструктури виносить Блокчейн на перше місце в процесах управління зростаючими обсягами даних, які потребують високої масштабованості. Тим не менш, ці альтернативи спонукають до продовження досліджень щодо незмінної природи Блокчейну та монополістичного підходу облікових книг консорціуму, що створює бар'єри для входу та перешкоджає інноваціям [69].

2.9 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн. Розглянуто масштабованість IoT в логістичних задачах. Висвітлено питання безпеки IoT-пристроїв та застосунків на основі Блокчейн в логістичних задачах. Описано незмінність і аудит логістичних задач. Проаналізовано ефективність інформаційних потоків при використанні IoT та Блокчейн в логістичних задачах. Розглянуто обмеження та перспективи подальших досліджень інтеграції IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек

Кваліфікаційна робота освітнього рівня бакалавр прив'ячена аналізу особливостей використання IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач. Логістичні задачі, по своїй природі, пов'язані з обширним переліком різнотипових дій, котрі можуть супроводжуватись небезпеками. Тому доцільно розглянути поняття ризику, як кількісної оцінки небезпек.

Джерелом небезпеки може бути все живе та неживе. Носіями небезпек є природні процеси та явища, техногенне середовище та дії людей. Небезпек не мають вибіркових властивостей, під час свого виникнення вони негативно діють на оточуюче матеріальне середовище [70]. Небезпек реалізуються у вигляді потоків речовини, енергії та інформації. Вони існують у просторі та часі. Незважаючи на високий сучасний технічний рівень виробництва і науки, щорічно в Україні та за її межами, травмується і гине велика кількість людей

Всі вищеперелічені компоненти входять у поняття ризику. Згідно з ДСТУ 2293:2014 ризик – це вірогідність нанесення шкоди з урахуванням її тяжкості.

Ризик властивий будь-якій формі людської діяльності, що пов'язано з безліччю умов і факторів, що впливають на результат прийнятих людьми рішень. Історичний досвід показує, що, насамперед, ризик почали вивчати виходячи із неотримання намічених результатів, що особливо проявлялось при товарно-грошових відносинах, конкуренції учасників господарського обороту.

Дослідження [70] дозволяють виділити три основні ланки ризику:

- небезпечну поведінку;
- небезпечну ситуацію;
- травму (див. рисунок 3.1).

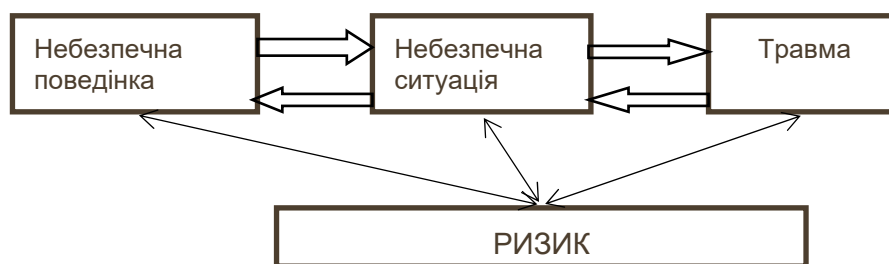


Рисунок 3.1 – Структура ризику

Перша ланка представляється однією з основних причин, які викликають травму або створюють небезпечну ситуацію, яка далі може призвести до нещасного випадку. У свою чергу, небезпечна поведінка – це наслідок психологічного характеру людини [71].

Ризик – це міра кількісного вимірювання небезпеки. Ризик є багатокomпонентною величиною і включає:

- величину збитку від дії чинника небезпеки;
- вірогідність виникнення чинника небезпеки;
- невизначеність величини збитку і вірогідності.

Вітчизняні експерти [70] вважають, що для України ризик виникнення аварій безпосередньо залежить від трьох груп чинників і описується регресійним рівнянням:

$$R = 6,77 - 0,56 x_1 - 0,43 x_2 - 0,27 x_3,$$

де x_1 – ефективність екологічної політики місцевих органів влади;

x_2 – капітальні вкладання в ресурсозберігаюче та природоохоронне обладнання;

x_3 – ефективність реалізації екологічних державних програм.

Ризик може бути визначений як частота (розмірність зворотна часові 1/с) або можливість (ймовірність) виникнення події (величина без розміру, лежить у межах 0 – 1).

Оцінити ризик можна як відношення кількості тих чи інших несприятливих наслідків (n) до їх імовірної кількості (N) за визначений період часу:

$$R = \frac{n}{N},$$

де R – ризик несприятливих наслідків;

n – кількість несприятливих подій;

N – загальна кількість імовірних подій.

Досить умовно, з метою визначення міри ризику, використовують умовну шкалу стосовно ймовірності небажаного результату (див. таблицю 3.1).

Таблиця 3.1 – Умовна шкала ризику

Ймовірність небажаного результату	Градація ризику
0,0–0,1	мінімальний ризик
0,1–0,3	малий ризик
0,3–0,4	середній ризик
0,4–0,6	високий ризик
0,6–0,8	максимальний ризик
0,8–1,0	критичний ризик

Існують два основних види ризику, за якими визначають методи їх оцінювання: індивідуальний та соціальний.

3.2 Проведення інструктажів з охорони праці

В кваліфікаційній роботі освітнього рівня бакалавр проаналізовано використання IoT-пристроїв та Блокчейн для логістичних задач. Логістичні задачі формуються в багатьох сферах господарської діяльності. Тому доцільно розглянути питання проведення інструктажів з охорони праці.

Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити на підприємстві інструктажі з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих .

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий .

Вступний інструктаж проводиться [72]:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження трудового або професійного навчання;
- з екскурсантами у разі екскурсії на підприємство.

Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому Типовим положенням порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство або до фізичної особи, яка використовує найману працю;
- який переводиться з одного структурного підрозділу підприємства до іншого;
- який виконуватиме нову для нього роботу;
- відрядженим працівником іншого підприємства, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Первинний інструктаж проводиться з учнями, курсантами, слухачами та студентами навчальних закладів:

- до початку трудового або професійного навчання;
- перед виконанням кожного навчального завдання, пов'язаного з використанням різних механізмів, інструментів, матеріалів тощо.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться індивідуально або з групою осіб одного фаху за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт.

Повторний інструктаж на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань первинного інструктажу [72].

Повторний інструктаж проводиться в терміни, визначені нормативно-правовими актами з охорони праці, які діють у галузі, або роботодавцем (фізичною особою, яка використовує найману працю) з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою – 1 раз на 3 місяці;
- для решти робіт – 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, або модернізації обладнання, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що призвели до травм, аварій, пожеж тощо;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів
- для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт – понад 60 днів.

Позаплановий інструктаж з учнями, студентами, курсантами, слухачами проводиться під час проведення трудового і професійного навчання при порушеннях ними вимог нормативно – правових актів з охорони праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо [72].

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при ліквідації аварії або стихійного лиха;
- при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Цільовий інструктаж проводиться індивідуально з окремим працівником або з групою працівників. Обсяг і зміст цільового інструктажу визначаються залежно від виду робіт, що виконуватимуться.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі проводить безпосередній керівник робіт (начальник структурного підрозділу, майстер) або фізична особа, яка використовує найману працю.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі завершуються перевіркою знань у вигляді усного опитування або за допомогою технічних засобів, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів праці, особою, яка проводила інструктаж [72].

При незадовільних результатах перевірки знань, умінь і навичок щодо безпечного виконання робіт після первинного, повторного чи позапланового інструктажів протягом 10 днів додатково проводяться інструктаж і повторна перевірка знань.

При незадовільних результатах перевірки знань після цільового інструктажу допуск до виконання робіт не надається. Повторна перевірка знань при цьому не дозволяється.

3.3 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано ризик як кількісну оцінку небезпек. Оскільки розглянуті в кваліфікаційній роботі логістичні задачі формуються в багатьох сферах господарської діяльності, то висвітлено питання проведення інструктажів з охорони праці.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Проаналізовано стан та перспективи використання Інтернету речей та Блокчейну для вирішення логістичних задач.

- Описана використана методика пошуку та аналізу публікацій.

- Висвітлено Інтернет речей та його застосування в ланцюгах постачання.

- Розглянуто ключові сценарії використання IoT-пристроїв для вирішення логістичних задач.

- Описано безпеку Інтернету речей в логістичних задачах.

- Висвітлено перспективи використання Блокчейн для логістичних задач.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Проаналізовано інноваційні напрямки досліджень для поєднання IoT з технологією Блокчейн.

- Розглянуто масштабованість IoT в логістичних задачах.

- Висвітлено питання безпеки IoT-пристроїв та застосунків на основі Блокчейн в логістичних задачах.

- Описано незмінність і аудит логістичних задач.

- Проаналізовано ефективність інформаційних потоків при використанні IoT та Блокчейн в логістичних задачах.

- Розглянуто обмеження та перспективи подальших досліджень інтеграції IoT-пристроїв та Блокчейн для вирішення логістичних задач.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано ризик як кількісну оцінку небезпек. Висвітлено питання проведення інструктажів з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Fayezi, S.; Zomorodi, M. Supply Chain Management: Developments, Theories and Models. In Handbook of Research on Global Supply Chain Management; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2015; pp. 313–340.
- 2 Zantalis, F.; Koulouras, G.; Karabetsos, S.; Kandris, D. A Review of Machine Learning and IoT in Smart Transportation. *Future Internet* 2019, 11, 94.
- 3 Kharlamov, A.; Parry, G. Advanced Supply Chains: Visibility, Blockchain and Human Behaviour. In Innovation and Supply Chain Management; Moreira, A.C., Ferreira, L.M.D.F., Zimmermann, R.A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018; pp. 321–343. ISBN 978-3-319-74303-5.
- 4 Rejeb, A.; Su'le, E.; Keogh, J.G. Exploring new technologies in procurement. *Transp. Logist. Int. J.* 2018, 18, 76–86.
- 5 Dorsemayne, B.; Gaulier, J.-P.; Wary, J.-P.; Kheir, N.; Urien, P. Internet of things: A definition & taxonomy. In Proceedings of the 2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, Cambridge, UK, 9–11 September 2015; pp. 72–77.
- 6 Lelli, F. Interoperability of the Time of Industry 4.0 and the Internet of Things. *Future Internet* 2019, 11, 36.
- 7 Hsiao, H.-I.; Huang, K.-L. Time-temperature transparency in the cold chain. *Food Control* 2016, 64, 181–188.
- 8 Óskarsdóttir, K.; Oddsson, G.V. Towards a decision support framework for technologies used in cold supply chain traceability. *J. Food Eng.* 2019, 240, 153–159.
- 9 World Economic Forum. The Internet of Things and Connected Devices: Making the World Smarter. Available online: <http://wef.ch/2ihHIY2> (accessed on 29 April 2019).
- 10 Pérez, L.; Dos Santos Paulino, V.; Cambra-Fierro, J. Taking advantage of disruptive innovation through changes in value networks: Insights from the space industry. *Supply Chain Manag. Int. J.* 2017, 22, 97–106.

11 Keertikumar, M.; Shubham, M.; Banakar, R.M. Evolution of IoT in smart vehicles: An overview. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Noida, India, 8–10 October 2015; IEEE: Noida, India; pp. 804–809.

12 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A., Bilak Y., Formation of Hypercubes Based on Data Obtained from Systems of IoT Devices of Urban Resource Networks, *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control* (2020) 10: 1. ISSN 2210-3287.

13 Tzounis, A.; Katsoulas, N.; Bartzanas, T.; Kittas, C. Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosyst. Eng.* 2017, 164, 31–48.

14 Barreto, L.; Amaral, A.; Pereira, T. Industry 4.0 implications in logistics: An overview. *Procedia Manuf.* 2017, 13, 1245–1252.

15 Witkowski, K. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0–Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Eng.* 2017, 182, 763–769.

16 Lee, I.; Lee, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Bus. Horiz.* 2015, 58, 431–440.

17 Saragih, L.R.; Dachyar, M.; Zagloel, T.Y.M.; Satar, M. The Industrial IoT for Nusantara. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS)*, Bali, Indonesia, 1–3 November 2018; pp. 73–79.

18 Zhou, Z. Applying RFID to reduce bullwhip effect in a FMCG supply chain. In *Proceedings of the Advances in Computational Environment Science*, Australia, Melbourne, 15–16 January 2012; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012; pp. 193–199.

19 Newman, D. How IoT Will Impact The Supply Chain. Available online: <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2018/01/09/how-iot-will-impact-the-supply-chain/#28322c3e37b1>.

- 20 Georgakopoulos, D.; Jayaraman, P.P.; Fazia, M.; Villari, M.; Ranjan, R. Internet of Things and Edge Cloud Computing Roadmap for Manufacturing. *IEEE Cloud Comput.* 2016, 4, 66–73.
- 21 Waller, M.A.; Fawcett, S.E. Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *J. Bus. Logist.* 2013, 34, 77–84.
- 22 Obitko, M.; Jirkovský, V.; Bezdíček, J. Big data challenges in industrial automation. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, Prague, Czech Republic, 26–28 August 2013; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 305–316.
- 23 Rejeb, A. Blockchain Potential in Tilapia Supply Chain in Ghana. *Acta Tech. Jaurinensis* 2018, 11, 104–118.
- 24 Cam-Winget, N.; Sadeghi, A.-R.; Jin, Y. INVITED: Can IoT be Secured: Emerging Challenges in Connecting the Unconnected. In *Proceedings of the 53rd Annual Design Automation Conference (DAC '16)*, Austin, TX, USA, 5–9 June 2016.
- 25 Yang, K.; Forte, D.; Tehranipoor, M.M. Protecting endpoint devices in IoT supply chain. In *Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*, Austin, TX, USA, 2–6 November 2015; pp. 351–356.
- 26 Marjani, M.; Nasaruddin, F.; Gani, A.; Karim, A.; Hashem, I.A.T.; Siddiqua, A.; Yaqoob, I. Big IoT Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges. *IEEE Access* 2017, 5, 5247–5261.
- 27 Suresh, P.; Daniel, J.V.; Parthasarathy, V.; Aswathy, R.H. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In *Proceedings of the International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)*, Chennai, India, 27–29 November 2014; pp. 1–8.
- 28 Treiblmaier, H. The impact of the Blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Manag. Int. J.* 2018, 23, 545–559.

- 29 Atlam, H.F.; Wills, G.B. Intersections between IoT and distributed ledger. *Adv. Comput.* 2019, 1–41.
- 30 Treiblmaier, H. Toward More Rigorous Blockchain Research: Recommendations for Writing Blockchain Case Studies. *Front. Blockchain* 2019, 2, 1–15.
- 31 Fosso Wamba, S.; Kamdjoug, K.; Robert, J.; Bawack, R.; G Keogh, J. Bitcoin, Blockchain, and FinTech: A Systematic Review and Case Studies in the Supply Chain. *Prod. Plan. Control* 2018. Forthcoming.
- 32 Dodd, N. The Social Life of Bitcoin. *Theory Cult. Soc.* 2018, 35, 35–56.
- 33 Kshetri, N. Can Blockchain Strengthen the Internet of Things? *IT Prof.* 2017, 19, 68–72.
- 34 Dorri, A.; Kanhere, S.S.; Jurdak, R.; Gauravaram, P. Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, Kona, HI, USA, 13–17 March 2017.
- 35 Rejeb, Abderahman, John G. Keogh, and Horst Treiblmaier. "Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management." *Future Internet* 11.7 (2019): 161.
- 36 Yang, C.; Li, X.; Yu, Y.; Wang, Z. Basing Diversified Services of Complex IIoT Applications on Scalable Block Graph Platform. *IEEE Access* 2019, 7, 22966–22975.
- 37 Wang, X.; Zha, X.; Ni, W.; Liu, R.P.; Guo, Y.J.; Niu, X.; Zheng, K. Survey on Blockchain for Internet of Things. *Comput. Commun.* 2019. Forthcoming.
- 38 Bashir, I. *Mastering Blockchain*; Packt Publishing–Ebooks Account: Birmingham, UK, 17 March 2017.
- 39 Gazi, P.; Kiayias, A.; Zindros, D. Proof-of-stake sidechains. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Security & Privacy*, San Francisco, CA, USA, 20–22 May 2019; pp. 1–36.
- 40 Croman, K.; Decker, C.; Eyal, I.; Gencer, A.E.; Juels, A.; Kosba, A.; Miller, A.; Saxena, P.; Shi, E.; Sirer, E.G.; et al. On scaling decentralized

Blockchains. In Proceedings of the International Conference on Financial Cryptography and Data Security, Christ Church, Barbados, 22–26 February 2016; pp. 106–125.

41 Dujak, D.; Sajter, D. Blockchain Applications in Supply Chain. In SMART Supply Network; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 21–46.

42 Makhdoom, I.; Abolhasan, M.; Ni, W. Blockchain for IoT: The Challenges and a Way Forward. In Proceedings of the 15th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications—Volume 2: SECRIPT, Porto, Portugal, 26–28 July 2019; INSTICC: Setúbal, Portugal, 2018.

43 Back, A.; Corallo, M.; Dashjr, L.; Friedenbach, M.; Maxwell, G.; Miller, A.; Poelstra, A.; Timón, J.; Wuille, P. Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains. White Paper. 2014. Available online: <https://blockstream.com/sidechains.pdf>.

44 Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; Aledhari, M.; Ayyash, M. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Commun. Surv. Tutor. 2015, 17, 2347–2376.

45 Luu, L.; Narayanan, V.; Zheng, C.; Baweja, K.; Gilbert, S.; Saxena, P. A secure sharding protocol for open Blockchains. In Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, Vienna, Austria, 24–28 October 2016; pp. 17–30.

46 Ateniese, G.; Magri, B.; Venturi, D.; Andrade, E. Redactable Blockchain—or—rewriting history in bitcoin and friends. In Proceedings of the 2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P), Paris, France, 26–28 April 2017; pp. 111–126.

47 Popov, S. The tangle. Cit 2018, 131. Available online: https://assets.ctfassets.net/r1dr6vzfxhev/2t4uxvsIqk0EUau6g2sw0g/45eae33637ca92f85dd9f4a3a218e1ec/iota1_4_3.pdf.

48 IOTW. IOTW A Blockchain-Enabled IoT Data Platform. Available online: <https://iotw.io/>.

49 Christidis, K.; Devetsikiotis, M. Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access* 2016, 4, 2292–2303.

50 Perboli, G.; Musso, S.; Rosano, M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: A Lean approach for designing real-world use cases. *IEEE Access* 2018, 6, 62018–62028.

51 Duda, O., Kunanets, N., Martsenko, S., Matsiuk, O., Pasichnyk, V., Building secure Urban information systems based on IoT technologies. *CEUR Workshop Proceedings* 2623, pp. 317-328. 2020.

52 Woodside, J.M.; Augustine, F.K., Jr.; Giberson, W. Blockchain Technology adoption status and strategies. *J. Int. Technol. Inf. Manag.* 2017, 26, 65–93.

53 Mao, D.; Hao, Z.; Wang, F.; Li, H. Novel Automatic Food Exchange System Using Consortium Blockchain. *Arab. J. Sci. Eng.* 2019, 44, 3439–3455.

54 Turk, Ž.; Klinc, R. Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. In *Proceedings of the Procedia Engineering*, Primosten, Croatia, 19–22 June 2017; Volume 196, pp. 638–645.

55 Duda, O., et al, Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities. *CEUR Workshop Proceedings* 2631, pp. 68-78. 2020.

56 Dogo, E.M.; Salami, A.F.; Aigbavboa, C.O.; Nkonyana, T. Taking Cloud Computing to the Extreme Edge: A Review of Mist Computing for Smart Cities and Industry 4.0 in Africa. In *Edge Computing*; Springer: Cham, Switzerland; 2019; pp. 107–132.

57 Biswas, K.; Muthukkumarasamy, V.; Tan, W.L. Blockchain Based Wine Supply Chain Traceability System. In *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC)*, Vancouver, Canada, 29–30 November 2017; pp. 1–7.

58 Moon, J. Evrythng Opens Blockchain to Every Consumer Product Brand. 2019. Available online: <https://evrythng.com/press-releases/evrythng-opens-Blockchain-to-every-consumer-product-brand/>.

59 Ramachandran, A.; Kantarcioglu, D. Using Blockchain and smart contracts for secure data provenance management. arXiv 2017, arXiv:170910000.

60 Shetty, S.; Red, V.; Kamhoua, C.; Kwiat, K.; Njilla, L. Data provenance assurance in the cloud using Blockchain. In Proceedings of the Disruptive Technologies in Sensors and Sensor Systems, Anaheim, CA, USA, 11–12 April 2017.

61 Aryal, A.; Liao, Y.; Nattuthurai, P.; Li, B. The emerging big data analytics and IoT in supply chain management: A systematic review. *Supply Chain Manag. Int. J.* 2018.

62 McConaghy, T. Blockchains for Big Data. Available online: <https://bravenewcoin.com/insights/Blockchainsfor-big-data>.

63 Mišura, K.; Žagar, M. Data marketplace for Internet of Things. In Proceedings of the 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), Osijek, Croatia, 12–14 October 2016; pp. 255–260.

64 Abeyratne, S.A.; Monfared, R.P. Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger. *Int. J. Res. Eng. Technol.* 2016, 5, 1–10.

65 Panarello, A.; Tapas, N.; Merlino, G.; Longo, F.; Puliafito, A. Blockchain and IoT integration: A systematic survey. *Sensors* 2018, 18, 2575.

66 Brous, P.; Janssen, M.; Herder, P. Internet of Things adoption for reconfiguring decision-making processes in asset management. *Bus. Process Manag. J.* 2018.

67 Goguen, M.; Campbell-Verduyn, M. The mutual constitution of technology and global governance: Bitcoin, Blockchains, and the international anti-money-laundering regime. In *Bitcoin and Beyond*; Routledge: London, UK, 2017; pp. 69–87.

68 Levi, S.D.; Lipton, A.B. An introduction to Smart Contracts and Their Potential and Inherent Limitations. In Harvard Law School Forum on Corporate Governance & Financial Regulation. 2018. Available online: <https://corpgov.law.harvard.edu/2018/05/26/an-introduction-to-smart-contracts-and-their-potentialand-inherent-limitations/>.

69 Dib, O.; Brousmiche, K.-L.; Durand, A.; Thea, E.; Hamida, E.B. Consortium Blockchains: Overview, applications and challenges. Int. J. Adv. Telecommun. 2018, 11, 51–64. Available online: https://www.researchgate.net/profile/Omar_Dib/publication/328887130_Consortium_Blockchains_Overview_Applications_and_Challenges/links/5be99602299bf1124fce0ab9/Consortium-Blockchains-Overview-Applications-and-Challenges.pdf.

70 Стиценко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. «Безпека життєдіяльності»: навч. посібник / Т.Є Стиценко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 336 с.

71 Інші типи небезпечної поведінки. Доступно онлайн: <https://empendium.com/ua/chapter/B27.II.21.4.2>.

72 Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці. Доступно онлайн: http://vinfpo.org.ua/index.php?option=com_k2&view=item&id=71:%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B8-%D1%82%D0%B0-%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%B6%D1%96%D0%B2-%D0%B7-%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96&Itemid=14.