

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань _____ 12 – Інформаційні технології _____

Спеціальність _____ 123 –Комп'ютерна інженерія _____

на тему «Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн»

КвРКІП. 180241.18.03 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-22-1

Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання

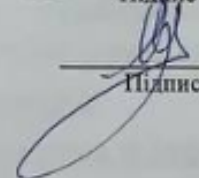
До захисту допускаю:
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко
06 05 2024 р.



Підпис

Саух О.Е.
Ініціали, прізвище



Підпис

Лисенко С.М.
Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Сауху Олекію Едуардовиче

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Керівник проекту (роботи) Лисенко С.М., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз відомих методів керування постачання іт-інфраструктур

Моделювання смарт-контрактів в процесі керування постачання іт-інфраструктур

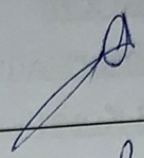
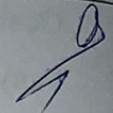
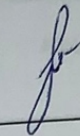
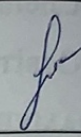
Удосконалений метод керування постачання іт-інфраструктур згідно з технологією

блокчейн

Реалізація та методу керування постачання іт-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

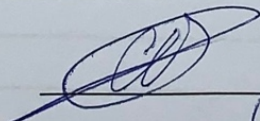
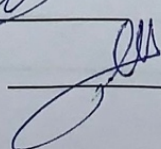
7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.204	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.204	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист	29.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2024	

Студент

Керівник роботи

Підпис

Підпис

О.Е. Саух

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Автор роботи: Олексій Саух

Керівник роботи: Сергій Лисенко

Пояснювальна записка: 82 с., 18 рис., 6 табл., 2 дод., 89 джерел.

ІТ-ІНФРАСТРУКТУРА, БЛОКЧЕЙН, СМАРТ-КОНТРАКТ, БАЗА ДАНИХ

Об'єктом дослідження є процес забезпечення стійкості комп'ютерних мереж.

Предметом дослідження є метод синтезу апаратно-програмних засобів забезпечення стійкості корпоративної комп'ютерної мережі.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися основні положення теорії комп'ютерних мереж та систем, системного аналізу, моделювання, методів аналізу даних, теорії математичної статистики, теорії дискретної математики.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур, який на відміну від відомих для покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур використовує технологію блокчейн, а процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур здійснюється застосуванням смарт контрактів.

2. Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження було розроблено апаратно-програмні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР.....	11
1.1 Ланцюги поставок.....	11
1.2 Поняття блокчейн.....	13
1.3 Відомі методи управління ланцюгом поставок.....	21
1.4 Висновки та постановка задачі	28
2 МОДЕЛЮВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР	29
2.1 Принцип функціонування смарт-контракту.....	29
2.2 Модель смарт-контракту.....	32
2.2.1 Модель управління матеріальним процесом та операціями модель контракту.....	36
2.2.2 Математична модель управління потоками та інформаційними процесами.....	38
2.3 Апробація запропонованих моделей.....	41
2.4 Висновки.....	48
3 УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР ЗГІДНО З ТЕХНОЛОГІЄЮ БЛОКЧЕЙН	49
3.1 Основи удосконаленого методу керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.....	49
3.1.1 Розподілене прийняття рішень при керування постачання ІТ-інфраструктур.....	50

3.1.2 Смарт-контракти при керування постачання ІТ-інфраструктур	53
3.2. Математична модель процесу забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.....	54
3.3 Процесу забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур у великому масштабі.....	60
3.3.1 Початкова популяція.....	60
3.3.2 Фітнес-функція	61
3.3.3 Генетичні оператори	61
3.3.4 Умова зупинки.....	62
3.4. Дослідження запропонованого методу	62
3.5 Висновки	72
4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР ЗГІДНО З ТЕХНОЛОГІЄЮ БЛОКЧЕЙН	73
4.1 Архітектура системи керування постачання іт-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.....	73
4.2 Програмна реалізація системи керування постачання іт-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.....	77
4.3 Інтерфейс користувача системи керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.....	80
4.4 Оцінка роботи системи керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.....	82
4.4 Висновки	83
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	87
ДОДАТОК А	96

ДОДАТОК Б98

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КМ – комп'ютерна мережа

БД - база даних

ОС - операційна система

ПЗ - програмне забезпечення

ВСТУП

Застосування ІТ-інфраструктур в цифровому світі залишається дуже актуальним:

- Цифрова трансформація бізнесу. Чим більше компанії переходять до цифрових процесів, тим більш важливою стає ІТ-інфраструктура. Це охоплює такі аспекти, як хмарні сервіси, Інтернет речей (IoT), аналітика даних, штучний інтелект (AI) та багато іншого.
- Гнучкість та масштабованість. ІТ-інфраструктура дозволяє компаніям швидко реагувати на зміни в потребах бізнесу і масштабувати свої операції відповідно до зростання або зменшення обсягу бізнесу.
- Забезпечення безпеки і конфіденційності. Захист інформації стає все важливішим в цифровому світі. ІТ-інфраструктура дозволяє компаніям використовувати передові заходи безпеки, включаючи шифрування, багаторівневі системи аутентифікації та захист від кібератак.
- Підтримка дистанційної роботи. За останній час дистанційна робота стала нормою для багатьох компаній, і ІТ-інфраструктура грає ключову роль у забезпеченні ефективної комунікації та співпраці між співробітниками, а також в забезпеченні безпеки віддалених робочих місць.
- Інновації та конкурентоспроможність. Застосування передових технологій в ІТ-інфраструктурі, таких як машинне навчання, аналітика даних та Інтернет речей, допомагає компаніям інновувати та залишатися конкурентоспроможними на ринку.

Тому ІТ-інфраструктури залишаються ключовими елементами для підтримки бізнесу в цифровому світі, і їхнє значення тільки зростає з часом.

Розроблення методів керування постачанням ІТ-інфраструктур за допомогою технології блокчейн може бути вельми актуальним і має потенціал вирішувати деякі ключові проблеми, пов'язані з цим процесом. Ось кілька причин, чому це важливо:

- Децентралізованість і безпека. Технологія блокчейн дозволяє створювати децентралізовані мережі, які забезпечують безпеку даних та транзакцій. У контексті постачання IT-інфраструктури це може означати захист від хакерських атак та маніпуляцій з боку постачальників.
- Траспарентність та недоторканність даних. Блокчейн забезпечує можливість стежити за кожною транзакцією в системі, що дозволяє створити високий рівень траспарентності. Кожна зміна в записі вимагає погодження всієї мережі, що ускладнює можливість маніпуляцій з даними.
- Автоматизація процесів. Смарт-контракти, які базуються на технології блокчейн, можуть автоматизувати багато етапів управління постачанням IT-інфраструктури, включаючи підписання контрактів, оплату, доставку та виконання послуг.
- Ефективність і скорочення витрат. Використання блокчейну може допомогти уникнути посередників та зменшити витрати на транзакції, що може призвести до більш ефективного управління постачанням IT-інфраструктури.
- Системи слідування та аудиту. Блокчейн забезпечує неперервний журнал транзакцій, що дозволяє проводити аудит та відстежувати всі зміни в системі, що може бути корисним для вирішення спірних питань та виявлення помилок.

Таким чином, розробка нових методів керування постачанням IT-інфраструктури з використанням технології блокчейн є актуальною та має потенціал поліпшити безпеку, ефективність та траспарентність цього процесу. Однак, важливо враховувати специфіку та технічні вимоги при розробці таких систем.

Актуальність роботи полягає в розробці удосконаленого методу керування постачанням IT-інфраструктур згідно з технологією блокчейн, який покращить стійкість ланцюга постачання IT-інфраструктур.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є покращення якості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- дослідити методи керування постачання ІТ-інфраструктур;
- проаналізувати сучасні програмно-технічні керування постачання ІТ-інфраструктур;
- дослідити та описати моделювання постачання ІТ інфраструктур;
- удосконалити метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн;
- реалізувати засоби керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Предметом дослідження є метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур, який на відміну від відомих для покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур використовує технологію блокчейн, а процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур здійснюється застосуванням смарт контрактів.

2. Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження було розроблено апаратно-програмні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення теорії комп'ютерних мереж та систем, системного аналізу, моделювання, методів

аналізу даних, теорії математичної статистики, теорії дискретної математики, теорії еволюційних алгоритмів.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна [1].

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР

1.1 Ланцюги поставок

Ланцюги поставок і мережі значно покращилися та змінилися. Багато поточних досліджень ланцюгів поставок охоплюють різні питання, включаючи цифровізацію, механізацію, Інтернет речей (IoT), промисловість 4.0 і хмарні ланцюги поставок. Індустрія 4.0 є однією з цих змін посилюючись на набір дій і технологій, які забезпечують зв'язок у реальному часі між фізичною та цифровою сферами [1–3].

Індустрія 4.0 певним чином представляє четверту промислову революцію з практичної точки зору, оскільки вона була запроваджена після трьох попередніх промислових революцій.

Ці три революції:

- 1) використання сили пари для механізації промислових машин;
- 2) використання електроенергії в різних галузях промисловості та механізмах;
- 3) використання електроніки та інформаційних технологій для сприяння автоматизації в різних галузях [4].

У промисловості четвертого покоління ми стикаємося з розумними (інтелектуальними) фабриками, продуктами та послугами, створеними за допомогою інтелектуальних моделей завдяки розробці різних технологій, особливо IoT, звідси термін промисловий Інтернет і хмарні платформи [5].

Одна з переваг «Індустрії 4.0» полягає в тому, що вона підвищує стабільність ланцюжка поставок. Попередні дослідження в основному наголошували на впливі Індустрії 4.0 на мінімізацію витрат і вплив на навколишнє середовище, пов'язаний із стійкістю. Крім того, Індустрія 4.0 також може реалізувати різні бажані соціальні параметри, що стосуються стійкості [6].

Враховуючи економічні аспекти стійкості, використання повсюдної інфраструктури інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) може значно знизити витрати на ланцюг поставок [7].

Крім того, різні малі та середні підприємства (МСП) можуть значно скоротити витрати на ланцюжок поставок, скориставшись перевагами хмарних обчислень та інтелектуалізації в кількох формах [8,9].

Блокчейн, як інструмент для реалізації Індустрії 4.0, дає змогу винагороджувати екологічну поведінку в ланцюжку поставок за допомогою стимулів токенизації. Це також сприяє зниженню витрат і сприяє стійкості в ланцюжку поставок за рахунок підвищення видимості та простоти передачі інформації. Наприклад, із універсальним доступом до даних ефект бича в ланцюзі постачання зменшується, а непотрібне виробництво запобігає. Крім того, завдяки запису логістичних даних у режимі реального часу без потреби в значних людських ресурсах можна скоротити багато витрат, а дані записуються ефективно й точно [10–12].

У цифрових платформах і екосистемах термін «хмарний ланцюг поставок» означає інтеграцію всіх операційних процесів, таких як логістика, складування, виробництво, закупівлі, продажі та повернення, а також усіх потоків ланцюга поставок, таких як матеріальні, інформаційні та фінансові потоки та всі постачання. учасники ланцюгів, такі як постачальники, виробники, дистриб'ютори та клієнти [13].

Таким чином, хмарна система виробництва-розподілу є частиною хмарного ланцюжка поставок. Оскільки дослідження в галузі використання технології блокчейн у хмарній системі виробництва та розподілу є рідкісними, і це є частиною хмарного ланцюжка поставок, ми розглянемо літературу про хмарний ланцюг поставок. У цьому дослідженні розглядається вплив використання технології блокчейн на проблему ланцюга поставок, реалізація Індустрії 4.0 і підвищення стійкості ланцюга поставок. Технологія блокчейн, або технологія розподіленої книги (DLT), відноситься до баз даних, розподілених у мережі без центральних адміністраторів, якими повністю керують і керують учасники мережі. Ця

технологія призвела до кількох позитивних ефектів у різних фінансових і нефінансових сферах, покращує продуктивність і знижує витрати на системи, усуваючи центрального адміністратора [14,15].

Оскільки центральні комп'ютери або центральна система хмарних обчислень відповідають за прийняття рішень в Індустрії 4.0, очікується, що технологія блокчейн покриє слабкі сторони таких систем, виключить адміністратора (центрального суб'єкт) із процесу прийняття рішень і залучить розподілену мережа різних осіб у процесі прийняття рішень.

Це нововведення прискорює прийняття рішень, скорочує витрати та мінімізує нав'язування системі вподобань адміністраторів. У низці статей розглядається використання блокчейну для підвищення стійкості в ланцюжку поставок. Більшість із цих статей якісно досліджували це питання і не заглиблювались у математичне моделювання чи кількісний аналіз.

Крім того, у цих статтях блокчейн використовувався для підвищення прозорості, довіри, відстеження тощо.

Тому одним з можливих застосувань блокчейн можна використовувати для вирішення проблеми композиції розподіленого сервісу в ланцюзі поставок.

1.2 Поняття блокчейн

Технологія блокчейн була вперше представлена анонімом або командою під назвою Сатоші Накамото в 2008 році [16]. У 2014 році було представлено нове покоління технології блокчейн, яка дає змогу створювати сценарії смарт-контрактів і розподілених автономних організацій [17,18].

Блокчейн – це революційна парадигма, яка ввела нові концепції безпечного обміну даними та інформацією. Ця сучасна технологія складається з ланцюжка блоків, що дозволяє надійно зберігати всі скоєні транзакції за допомогою загальних і розподілених мереж [1,2]. Для досягнення цієї мети використовується кілька базових технологій, таких як криптографічна хеш-функція, алгоритми розподіленого консенсусу та цифрові підписи. Всі транзакції здійснюються

децентралізованим способом, що позбавляє від необхідності будь-яких посередників їх підтверджувати і перевіряти [3]. Блокчейн має деякі ключові характеристики [4], такі як:

- Децентралізація. У блокчейні транзакція може бути виконана між будь-якими двома організаціями/суб'єктами без необхідності центральної автентифікації. Як наслідок, використання блокчейну може значно скоротити витрати на сервер, а також зменшити обмеження продуктивності на центральному сервері.

- Постійність. Практично неможливо втрутитися в систему, оскільки кожна транзакція повинна бути перевірена і записана в блоках, розосереджених по всій мережі.

- Анонімність. За допомогою створеної адреси кожен користувач може спілкуватися з мережею блокчейн. Крім того, користувач може генерувати велику кількість адрес для захисту своєї особистості. Варто зазначити, що лише кілька реалізацій блокчейну пропонують анонімність. Більшість з них – під псевдонімами).

- Можливість перевірки: користувачі можуть легко перевіряти та відстежувати попередні записи, отримуючи доступ до будь-якого вузла розподіленої мережі, оскільки кожна транзакція підтверджується та зберігається з позначкою часу.

Блокчейн спочатку був запропонований для підтримки відомої криптовалюта біткоіни [5]. Однак за останні кілька років блокчейн був прийнятий в декількох нових областях, що виходять далеко за рамки криптовалют [6], включаючи охорону здоров'я [7], інтелектуальний транспорт [8] і Інтернет речей (IoT) [9]. Дійсно, завдяки своїй здатності підвищувати справедливість і прозорість, а також допомагати організаціям економити гроші і час, ця технологія впливає на широкий спектр галузей [10], починаючи від базових індивідуальних розважальних заходів і закінчуючи управлінням критичними і делікатними справами урядів і держав.

Оцінка застосування блокчейну в інтелектуальних мережах з точки зору сприйняття кібербезпеки та захисту енергетичних даних була опублікована в [33].

Автори обговорили, як великі дані та блокчейн можуть допомогти вирішити основні проблеми безпеки в сценаріях розумних мереж. Потім дослідники визначили ряд недавніх дослідницьких робіт на основі блокчейну, які були опубліковані в різних журналах, а також вивчили ризики безпеки, пов'язані з технологіями розумних мереж. Вони розповіли про низку інших нещодавніх практичних розробок, експериментів та продуктів. Нарешті, вони обговорили деякі з найактуальніших дослідницьких питань, а також потенційні шляхи використання блокчейну для вирішення проблем безпеки інтелектуальних мереж.

Автори [34] провели опитування та навчальний посібник з блокчейн-додатків в системах IoT. Ґрунтуючись на найважливіших аспектах, вони запропонували таксономію блокчейну для додатків IoT. Вони також розглянули найпопулярніші блокчейн-системи для додатків IoT. Вони розповіли про те, як технологія блокчейн може бути використана для розширення спектру додатків IoT. Крім того, вони зосередилися на нових досягненнях і рішеннях для контексту IoT. Нарешті, вони обговорили перешкоди та майбутні дослідницькі цілі для додатків блокчейну в IoT.

Оцінивши, систематизувавши та узагальнивши літературу, автори [35] запропонували всебічний огляд ролі технології блокчейн у вирішенні проблем, пов'язаних із ланцюжком поставок та логістикою. Запропоноване дослідження продемонструвало, що технологія блокчейн може перетворити ланцюжок поставок і логістичні послуги в безпечні, гнучкі, надійні та прозорі операції. Переваги технології блокчейн у наданні походження та простежуваності найважливішим продуктам підкреслюються за допомогою уявного сценарію застосування. Дослідження [36] надає огляд блокчейнів, включаючи їх побудову, методи консенсусу та інші теми. Він порівнює алгоритми на основі їх корисності та недоліків. У цьому дослідженні також обговорюється важливість блокчейнів у секторах розумної охорони здоров'я, розумних мереж та розумних фінансових систем. Загалом, цей документ містить огляд численних протоколів, алгоритмів домену блокчейну,

Дослідження, представлене в [37], було зосереджено на потенційному застосуванні блокчейна в майбутніх транспортних системах, які будуть

поєднуватися з підключеними та автономними автомобілями, щоб запропонувати загальний огляд поточної відповідної літератури та дослідницької діяльності на цю тему. Крім того, автори зосередилися на проблемах, перешкодах та майбутніх напрямках досліджень, пов'язаних із впровадженням блокчейну в цьому контексті.

Автори [38] надали глибоке вивчення еволюції технології блокчейн, архітектури, фреймворків розробки та проблем безпеки. Вони також порівняли фреймворки, класифікували методи консенсусу та вивчили загрози безпеці та криптографічні примітиви, що використовуються в блокчейні. Нарешті, вони обговорили критичні майбутні можливі розширення та відкриті дослідницькі питання, які дослідники можуть дослідити, щоб досягти більшого прогресу в цій галузі. Автори застосували широкий підхід у цьому дослідженні та не акцентували увагу на використанні блокчейну в якихось конкретних сферах.

У статті [39] представлений всебічний огляд застосувань технології блокчейн та варіантів її використання для захисту та довіри до інтелектуальних систем.

Автори [40] запропонували повний огляд додатків блокчейну, архітектури, методології та дослідницьких питань в Індустрії 4.0. Вони представили еталонну архітектуру блокчейну для розумного виробництва, що стимулювало їхні дискусії про те, як розгорнути технологію блокчейн у розумних фабриках і розумних додатках ланцюга поставок. Автори охоплювали лише обмежену кількість обмежень, а саме: пропускну здатність і масштабованість; системну інтеграцію, а також конфіденційність і безпеку.

Автори [41] запропонували таксономію, яка включає як технічну, так і аплікаційну інформацію і може допомогти вченим побудувати мультимедійні системи захисту авторських прав на основі блокчейну. У дослідженні також було розглянуто кілька технічних питань і визначено майбутні напрямки досліджень.

Оскільки блокчейн розроблений як децентралізований, він є чудовим конкурентом для перевірки даних і забезпечення цілісності транзакцій. Прийняття поняття «смарт-контракт» [89-92] є одним із способів забезпечення цілісності транзакцій. Мета смарт-контрактів, як випливає з назви, полягає в тому, щоб дозволити використовувати блокчейни, щоб гарантувати, що дві сторони мають

угоду, спеціально складену в рядках коду. Цей останній контролює виконання, а обміни є відстежуваними та незворотними. При необхідності блокчейн може бути використаний для вирішення будь-яких розбіжностей, що виникають, шляхом підтвердження автентичності цифрових підписів безпечним децентралізованим способом.

Захоплююча корисність інформаційних систем, блокчейну та інтеграції ланцюгів поставок була виявлена для цілого ряду підприємств [93-95]. Наприклад, багато компаній вважають походження продукту критично важливим. Блокчейн може допомогти легше відстежувати походження продукту завдяки місцевим правилам, уподобанням, зниженню податків та іншим стимулам для виявлення відстеження походження. Весь ланцюжок поставок, включаючи логістичні фактори, може отримати вигоду від походження. Товар може бути офіційно підтверджений у будь-який час, а трансакції не можуть бути сфальсифіковані або змінені з метою введення в оману кінцевих споживачів продукції [96-98].

Підсумовуючи, є кілька значних переваг використання технології блокчейн у комерційному світі. Однак існує реальний значний ризик того, що для багатьох малих і середніх підприємств накладні витрати на впровадження інтегрованої технології блокчейн будуть непропорційно високими і майже нездійсненними.

Бездротові додатки, такі як широкосмугове підключення до Інтернету, мобільні смартфони та Інтернет транспортних засобів [99 100], вимагають радіочастотного спектра [101], який є цінним і обмеженим ресурсом. Бездротові мережі, такі як стільниковий зв'язок і Wi-Fi, є найбільш економічно ефективними способами забезпечення широкосмугового доступу до Інтернету, особливо в районах з низьким рівнем доходу і країнах, що розвиваються. У зв'язку з цим необхідні різноманітні режими управління спектром для оптимізації переваг від використання доступного спектра шляхом обов'язкового ефективного використання спектра при мінімізації перешкод між споживачами [102]. Традиційний режим управління спектром має два основних недоліки. По-перше, значна частина ліцензованого спектру використовується недостатньо. По-друге, цей режим командно-адміністративного управління спектром повільно реагує на

ринкові та технологічні зміни [103]. Зондування спектру [104], підтримка вторинних торгових ринків спектру [105], спільне використання спектру [106] та дотримання політики [107] – все це можливі варіанти використання технології блокчейн в управлінні спектром [108].

Технологія блокчейн може бути використана для створення безпечної системи зондування спектру, а також для забезпечення спільного зондування, що підвищує точність даних зондування спектру. Оператори мобільного зв'язку можуть використовувати зондування спектру для поєднання доступних порожніх частот зі своїми ліцензованими частотами для збільшення пропускну здатності мережі. Спільне зондування, яке включає об'єднання результатів зондування від ряду вторинних датчиків або користувачів, може забезпечити ефективність результатів зондування спектру. Блокчейн вперше використовувався як однорангова платіжна система. В результаті він, природно, піддається створенню платіжної системи повного спектру на основі цифрової валюти, яку можна швидко конвертувати у фіатну валюту. Технологія блокчейн може бути використана для виконання багатьох функцій бази даних геолокації, а також для потреб управління спектром. Очікується, що використання блокчейну для активного зберігання інформації про незайняті діапазони спектру та геолокації користувачів також підвищить ефективність доступу до спектру та його використання.

Методика безпечного зондування спектру, заснована на блокчейні, представлена в [109] для підвищення енергоефективності і точності зондування когнітивних бездротових мереж одночасно. Механізм може адаптуватися до змін у навколишньому середовищі та регулювати кількість вузлів, що беруть участь у кооперативному зондуванні в режимі реального часу, а також оцінювати надійність сенсорних вузлів у режимі реального часу та обчислювати значення довіри вузла за допомогою алгоритму оцінки. Система не тільки реєструє споживання енергії кожним вузлом і продуктивність зондування, але й запам'ятовує значення довіри одного вузла. Значення довіри записується в список надійності блокчейну, який шифрується центром управління блокчейном, щоб гарантувати, що кожен вузол відповідає його власному значенню довіри. Згідно з експериментальними даними,

запропонований у цьому дослідженні алгоритм може враховувати як енергоефективність, так і точність зондування, продовжуючи термін служби когнітивних бездротових мереж. У цьому дослідженні технологія блокчейн і система репутації були впроваджені в метод зондування спектру. Представлено новий підхід до безпечного зондування спектру. Пряма репутація користувача та реферальна репутація оцінюються за допомогою цього методу визначення безпеки. Коли кооперативний вузол запитує доступ до певного діапазону частот, він повинен спочатку визначити, чи доступний цей діапазон. Він надішле запит на пропозицію до центру злиття, якщо він не відповідає. Результати зондування є більш точними, щоб запобігти атакам змови та зловмисній поведінці вузлів. Історичні записи зондування в базі даних та відстань історії взаємодії розглядаються як публічний реєстр з використанням технології блокчейн, який може бути спільним для кожного сусіднього вузла і жодного вузла в ньому

Ситуація може змінити інформацію в книзі обліку.

Управління спектром за допомогою блокчейнів - це нова програма з безліччю можливостей і викликів. Зондування спектру та бази даних геолокації є двома основними технологіями, які використовуються для забезпечення динамічного доступу до спектру. Раніше в попередніх дослідженнях ці підходи розглядалися як окремі стратегії. Оскільки блокчейн є технологією баз даних, він може бути використаний для створення уніфікованого методу, в якому методи зондування спектру та технологія бази даних геолокації працюють у тандемі. Більш надійна динамічна структура управління спектром з'явиться в результаті об'єднання цих двох стратегій доступу до спектру. Також необхідно дослідити інтеграцію блокчейнів з комунікаційними мережами. Мережа блокчейн може бути створена як накладення поверх мережі зв'язку, що дозволяє вузлам мережі зв'язку працювати як повноцінні вузли в мережі блокчейн. Ця мережева структура, однак, є енергоємною і вимагає спеціалізованого каналу управління для передачі блоків і транзакцій через блокчейн-мережі [110].

Інтернет речей (IoT) [111-113] - це зв'язок розумних пристроїв для збору даних і інтелектуального прийняття рішень. Тим не менш, IoT схильний до ризиків

конфіденційності та безпеки через відсутність властивих заходів безпеки. Розосереджена та централізована архітектура Інтернету речей є серйозною проблемою [114–116]. Кожен вузол в інфраструктурі *redIoT*, як правило, є потенційною слабкою точкою, яка може бути використана для початку кібератак. Конфіденційність даних та аутентифікація є іншими постійними та серйозними загрозами. Дані IoT можуть бути зламані та використані не за призначенням, якщо безпека даних не буде встановлена [117]. Цілісність даних – ще одна проблема для IoT. Системи підтримки прийняття рішень є одними з найважливіших додатків IoT. Як наслідок, захист системи від ін'єкційних атак, які намагаються впровадити фіктивні заходи і, таким чином, вплинути на прийняття рішень, є критично важливим. Для автоматизованих систем, таких як виробничі сектори та автомобільні мережі [118], які обробляють дані в режимі реального часу, доступність має вирішальне значення. Включення загальнодоступного аудиторського журналу, який не залежить від довіреної третьої сторони, має важливе значення, оскільки він вирішує всі ці проблеми. Блокчейн може допомогти у вирішенні основних проблем безпеки в IoT за допомогою функції «безпека за конструкцією» [119,120].

Блокчейн є останньою частиною головоломки у вирішенні проблем конфіденційності та надійності IoT. Притаманні блокчейну недовірливі, автономні та децентралізовані характеристики роблять його придатним для використання в різних сценаріях. Технологія блокчейн, наприклад, може зберігати постійний запис розумних гаджетів [121,122]. Крім того, впровадження смарт-контрактів може дозволити розумним пристроям працювати автономно, уникаючи необхідності людського контролю або централізованої влади. Крім того, блокчейн може стати безпечним засобом для зв'язку розумних пристроїв один з одним [123,124].

Внесок в [125] можна розглядати як загальне рішення, яке може бути використано в будь-якій області середовища IoT. Дійсно, автори цієї роботи розробили механізм, який дозволив би датчикам обмінювати біткоіни на дані. Кожен вузол має унікальну адресу, яка відповідає *pub*-ключу Bitcoin. Коли користувачеві потрібні дані з датчика після того, як він знайшов його в сховищі

датчиків, він надсилає транзакцію, спрямовану на публічний ключ цього датчика. Датчик відповість, відправивши клієнту транзакцію, що містить дані. Ця стратегія є розширенням рішення, наведеного в [126]. Фреймворк Enigma [127] пропонує ще одне інтригуюче рішення. Останній використовує цілком порівнянну концепцію — розподіл даних по декількох вузлах, відокремлюючи дані від їх посилань. Крім того, окрім того, що Enigma ускладнює відновлення оригінальної форми даних, вона пропонує додатковий рівень захисту, шифруючи такі фрагменти даних. Як результат, Enigma – це P2P-мережа, яка дозволяє кільком учасникам зберігати та обробляти дані одночасно, зберігаючи конфіденційність.

Підводячи підсумок, можна сказати, що використання блокчейну для додатків IoT забезпечує відмінний рівень безпеки, який запобігає небажаному доступу до даних.

1.3 Відомі методи управління ланцюгом поставок

Технологія блокчейн має багато переваг в управлінні ланцюгом поставок. Прозорість і відстежуваність ланцюжка поставок покращуються завдяки використанню блокчейну [19], впровадження блокчейну в глобальний ланцюг поставок максимізує ефективність за рахунок підвищення видимості та прозорості та усунення посередника чи третьої сторони [20].

Застосування блокчейну в ланцюзі поставок підтримуватиме та покращуватиме процеси цифровізації в ланцюзі поставок [21].

Крім того, блокчейн впливає на прийняття рішень і полегшує міжорганізаційні процеси в глобальному ланцюгу поставок [22].

Ефективність впровадження блокчейну в міжнародній торгівлі та глобальних ланцюгах постачання була систематично та аналітично досліджена в довідці [23] і автори дійшли висновку, що застосування блокчейну буде корисним для фірм, які стикаються зі значною нестабільністю попиту в ланцюжку постачання.

Джерела [24,25] розглядають комплексний огляд основних застосувань технології блокчейн, збоїв і проблем, пов'язаних із її впровадженням в управлінні ланцюгами поставок.

Робота [26] демонструє структуру для розробки продуманого пілотного проекту для впровадження технології блокчейн у ланцюзі поставок.

Стаття [27] показує переваги та проблеми впровадження блокчейну в загальний ланцюг постачання. Блокчейн може підтримувати розвиток сталого ланцюжка поставок завдяки своїм внутрішнім перевагам, таким як прозорість, відстежуваність, безпека та покращення екологічних, соціальних та економічних аспектів стійкості [28–30].

Таблиця 1.1 представлені відомі методи впливу блокчейну на стійкість і стійкий ланцюг поставок.

Таблиця 1.1 - Домінуючі дослідження впровадження блокчейну в стійких ланцюгах поставок

Джерело	Опис запропонованого методу
[31]	Розглянуто інноваційний блокчейн для програм, які покращують соціальні та екологічні результати.
[32]	Були запропоновані переваги блокчейну для покращення аспектів стійкості. Було представлено чотири бар'єри для впровадження блокчейну: міжорганізаційні, внутрішньоорганізаційні, технічні та зовнішні бар'єри.
[33]	У статті запропоновано концептуальну модель сталого управління ланцюгом поставок за допомогою технології блокчейн на малих і середніх підприємствах. Для розробки цієї концептуальної моделі було використано багатокритеріальне прийняття рішень.

Продовження таблиці 1.1 - Домінуючі дослідження впровадження блокчейну в стійких ланцюгах поставок

[34]	У статті подано переваги технології блокчейн включають різноманітну стійку прозорість ланцюжка поставок і представлено технічні атрибути. Крім того, було представлено новий гібридний груповий метод прийняття рішень, інтегровану нечітку множину, що коливається, і теорію жалю, для вибору та впровадження технології блокчейн.
[35]	У статті представлено блокчейн-підхід на основі розподіленої книги, розроблений для моніторингу продуктивності ланцюга постачання та оптимізації операційних витрат і рівнів викидів, що призводить до більш ефективного ланцюга постачання. Цей метод одночасно враховував рішення щодо виробництва, розподілу та контролю запасів у проблемі багаторівневого ланцюга постачання на основі розподілу виробництва за умов обмежень рівня викидів.
[36]	Було вивчено деякі впливи розподіленої книги та технології блокчейн на транзакції ланцюга поставок. У статті представлено шість позитивних ефектів, які мають вплив на скорочення витрат або уникнення витрат на транзакції ланцюга поставок, і два ефекти, які змінюють розподіл влади між покупцями та постачальниками в транзакціях і повинні бути недоліком.

Продовження таблиці 1.1 - Домінуючі дослідження впровадження блокчейну в стійких ланцюгах поставок

[28]	Подано бар'єри впровадження блокчейна досліджувалися за допомогою теорії технології–організації–середовища та теорії силового поля. Вхідні дані моделі були зібрані з опитувань академічних та галузевих експертів. Потім ці дані були проаналізовані інструментом Лабораторії випробувань та оцінки прийняття рішень (DEMATEL).
[37]	У статті досліджувався вплив блокчейну на управління операціями з акцентом на процеси прийняття рішень у стійкому управлінні ланцюгом поставок. У якості прикладу було досліджено впровадження блокчейну в інфраструктуру італійського аеропорту, і запропоновану платформу для спільного прийняття рішень аеропорту було успішно прийнято.
[38]	У статті досліджено застосування блокчейну в екологізації ланцюгів поставок. У цьому дослідженні розглядалися теоретичні та філософські проблеми технології блокчейн у стійких ланцюгах поставок.
[39]	Згідно з теоретичними та емпіричними даними, автори дійшли висновку, що принципи стійкості порушуються більше в країнах, що розвиваються, ніж у розвинених країнах. У статті описано сім застосувань блокчейну, які можуть вирішити проблеми вдосконалення стійких ланцюгів поставок у країнах, що розвиваються.

Продовження таблиці 1.1 - Домінуючі дослідження впровадження блокчейну в стійких ланцюгах поставок

[40]	У статті розглядалися популярні статті в області блокчейн-додатків у стійкому управлінні ланцюгом поставок і класифікувалися додатки на чотири категорії: продукти харчування, охорона здоров'я, виробництво та інфраструктура.
[41]	У статті досліджено, як блокчейн може покращити різні аспекти стійкості в ланцюжку поставок на основі розглянутих статей і тематичних досліджень додатків блокчейну в Walmart і Maersk.
[42]	У статті було розроблено аналітичний підхід для аналізу впливу блокчейну на стійку ефективність ланцюга поставок. Аналітичний підхід використовував теорію мереж, угоду між членами групи експертів, систему нечіткого логічного висновку, нечітку когнітивну карту та аналіз охоплення нечітких даних, щоб визначити пріоритети для впровадження технології блокчейн.
[43]	У статті розглядався окремий та інтегрований вплив блокчейну та Інтернету речей на стійкі ланцюжки поставок. У цій статті на основі відповідної літератури такі функції, як незмінність, підзвітність, безпека, можливість перевірки, довіра, інтелектуальне виконання, децентралізація та прозорість, були визначені як найбільш впливові характеристики блокчейна для підвищення стійкості в ланцюжку поставок.

Продовження таблиці 1.1 - Домінуючі дослідження впровадження блокчейну в стійких ланцюгах поставок

[44]	У статті було розроблено концептуальну основу для вивчення ролі блокчейну в мережі зворотного ланцюга поставок і дослідження того, як блокчейн впливає на продуктивність сталого розвитку. Для вирішення цієї проблеми було обрано чотири головні учасники, а саме харчову, фармацевтичну, електронну та іграшкову промисловість. Розроблена структура була використана для дослідження ролі блокчейну в операціях зворотного ланцюга поставок і оцінки його впливу на стійкість.
[45]	У статті блокчейн використовувався для запису інформації про викиди вуглецю в ланцюзі поставок, і в результаті було продемонстровано, що блокчейн підвищує прозорість і надійність.
[46]	У статті досліджено вплив блокчейну на покращення картографування ланцюга постачання та досліджено прямий вплив блокчейну на сталість за допомогою даних, отриманих із закритої анкети. Результати показали, що блокчейн не має прямого впливу на сталість. Проте існує сильний непрямий зв'язок між блокчейном і стійкістю в ланцюжку поставок. Цей зв'язок існує завдяки покращенню картографування ланцюга поставок. Блокчейн впливає на відображення ланцюга постачання, а покращене відображення ланцюга постачання сприяє підвищенню стійкості.

Продовження таблиці 1.1 - Домінуючі дослідження впровадження блокчейну в стійких ланцюгах поставок

[47]	У статті використовувався блокчейн для покращення відстеження факторів, що викликають недовіру до якості продукції в ланцюжку постачання. Також зазначається, що блокчейн створює екологічні проблеми через високе споживання енергії. Таким чином, модель теорії ігор була використана для вивчення компромісу між стійкістю та відстежуваністю. Результати показують, що в середовищах із високим рівнем недовіри використання блокчейну не є логічним. Однак у середовищах із низьким рівнем недовіри блокчейн не створює екологічних проблем.
------	---

У роботі [32], потенційні застосування блокчейну та смарт-контрактів були досліджені для сталого управління ланцюгом поставок. У цій статті було представлено чотири категорії бар'єрів для впровадження технології блокчейн: міжорганізаційні, внутрішньоорганізаційні, технічні та зовнішні бар'єри.

Глобалізація та глобальна конкуренція між ланцюгами постачання зумовлюють необхідність використання розподілених джерел постачання по всьому світу. На додаток до складнощів управління ланцюгом постачання в розподіленому та глобальному середовищі, динамізм ланцюга постачання зріс, а пріоритети споживачів призвели до налаштування та скорочення життєвих циклів продукту [48].

Управління розподіленим ланцюгом поставок є одним з успішних методів масштабної оптимізації. По-перше, у розподіленому динамічному програмуванні робиться спроба вирішити великомасштабну задачу шляхом виконання паралельних обчислень у мережі комп'ютерів [49].

Базуючись на цій концепції, Посилання [50] запропонував розподілене керування ланцюгом поставок, яке має кооперативну інтеграцію між усіма

партнерами в мережі та показало, що цей алгоритм працює краще, ніж децентралізоване керування ланцюгом поставок.

Згідно з оглядом літератури, було проведено дуже мало досліджень щодо застосування технології блокчейн у стійкому управлінні ланцюгом поставок. Крім того, переваги технології блокчейн у впровадженні Індустрії 4.0, такі як прозорість, відстеження, інтелектуальність тощо, не були достатньо вивчені.

Таким чином, у цьому дослідженні зроблено спробу вивчити вплив впровадження технології блокчейн в Індустрію 4.0 та вплив її взаємодії на підвищення стійкості ланцюга поставок і запропонувати архітектуру в цьому відношенні.

1.4 Висновки та постановка задачі

Таким чином постає завдання покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- дослідити методи керування постачання ІТ-інфраструктур;
- проаналізувати сучасні програмно-технічних керування постачання ІТ-інфраструктур;
- дослідити та описати моделювання постачання ІТ інфраструктур;
- удосконалити метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн;
- реалізувати засоби Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР

2.1 Принцип функціонування смарт-контракту

З метою побудови удосконаленого методу керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн важливою задачею є моделювання смарт-контрактів.

Принцип функціонування смарт-контракту, показаних на рисунку 2.1.

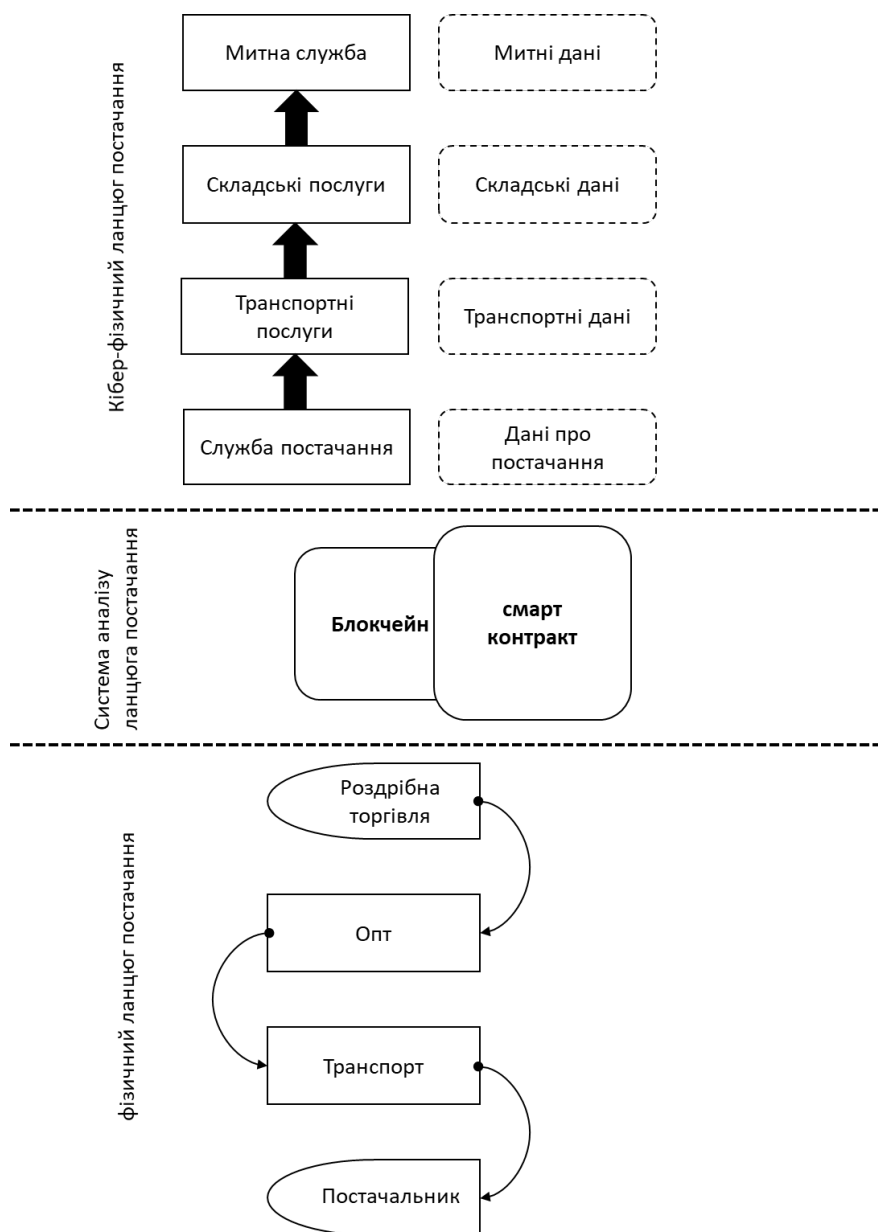


Рисунок 2.1 – Блокчейн-орієнтований дизайн смарт-контрактів у ланцюгу поставок

Процес розробки смарт-контракту структурований наступним чином. Декілька постачальників послуг можуть взяти на себе деякі операції в ланцюжку поставок, які послідовно впорядковуються як потокові завдання.

Операції можуть бути альтернативно призначені декільком постачальникам логістичних послуг.

Оскільки різні постачальники послуг працюють з різним часом і витратами, призначення операцій призведе до різного часу виконання і вартості завдань.

Створення смарт-контракту полягає у формуванні проектної структури блокчейну шляхом розподілу компаній за завданнями та планування їхніх операцій у контрактах.

Блокчейн буде реєструвати початок і завершення виконання операцій на робочих місцях.

Таким чином, виконання операцій компаніями можна розглядати як інформаційні послуги, які ці компанії вносять у дизайн блокчейну.

У цьому контексті дизайн смарт-контракту можна інтерпретувати як визначення початку і завершення інформаційних послуг у кіберпросторі IT інфраструктури, керованому блокчейном.

Таким чином, завдання полягає у побудові та моделюванні структури блокчейну шляхом закріплення компаній за робочими місцями та планування їхніх операцій у контрактах.

Процес моделювання базується на розумінні блокчейну як ланцюжка інформаційних сервісів у мережі, що відображають виконання операцій у фізичній мережі.

Блокчейн реєструє початок і завершення операцій на робочих місцях.

Таким чином, виконання операцій в логістичних компаніях можна розглядати як інформаційні послуги, які ці компанії вносять до розроблення необхідного типу блокчейну.

У цьому контексті розроблення смарт-контракту можна інтерпретувати як визначення часу початку і завершення інформаційних послуг у кіберпросторі, керованому блокчейном, що відображає фізичні процеси IT інфраструктури.

Таким чином, з точки зору теорії планування, необхідно проаналізувати двоєдину багатоетапну задачу гнучкого планування гнучкого потокового цеху з паралельними альтернативними машинами на кожному етапі з різними залежними від часу швидкостями обробки, залежною від часу доступністю машин і замовленими завданнями.

Основна задача полягає в поєднанні безперервної оптимізації через оптимальне управління та дискретної оптимізації за допомогою математичного програмування.

Процедура моделювання та обчислень базується на використанні неперервних змінних стану для визначення часу початку та завершення реалізації інформаційної послуги у смарт-контракті.

Дискретні керуючі змінні використовуються для призначення постачальників логістичних послуг на різні етапи роботи визначеного смарт-контракту.

Виконання інформаційних послуг описується за допомогою безперервних змінних стану.

У моделі управління операціями керуючі змінні є бінарними та дискретними і призначені для призначення постачальників логістичних послуг до операцій.

У моделі управління потоками керуючі змінні є безперервними і описують фактичний обсяг виконаних інформаційних послуг.

Модель управління потоками та операціями взаємопов'язана та дозволяє реалізувати підхід по діях до планування, що означає, що фізичне виконання операцій знаходиться всередині початку та завершення інформаційних послуг.

На алгоритмічному рівні, на відміну від класичних підходів до планування за допомогою оптимального управління, оптимальне управління використовується не для вирішення комбінаторної задачі, а для удосконалення існуючих алгоритмів математичного програмування щодо нестационарності, управління потоками та безперервних інформаційних потоків.

З цією метою в дослідженні було застосовано методи дискретної оптимізації до комбінаторних задач на певних часових інтервалах і використано оптимальне

програмне керування з усіма його перевагами (точність у неперервному часі, інтеграція планування і керування, параметри виконання операцій як функції часу) для керування потоками всередині операцій і для зв'язування декомпонованих розв'язків.

Основна алгоритмічна ідея, запропонована в цьому дослідженні, полягає в динамічній декомпозиції матриці призначень у часі, розглядаючи поліноміально розв'язувані (за тенденцією) задачі малої розмірності в кожний момент часу роботи системи.

Обчислювальний підхід полягає в тому, що виконання операцій і доступність машин динамічно розподілені в часі на горизонті планування.

Отже, не всі операції і машини беруть участь у прийнятті рішень одночасно, що природним чином приводить до переходу від великих матриць розподілу з великою кількістю бінарних змінних до задачі планування, яка динамічно декомпозується.

Розв'язок в кожний момент часу для невеликої розмірності обчислюється за допомогою математичного програмування.

Оптимальне управління використовується для моделювання виконання операцій і зв'язування рішень математичного програмування на горизонті планування за допомогою принципу максимуму.

2.2 Модель смарт-контракту

У межах структури, показаної на рисунку 2.1, опишемо задачу, яку потрібно вирішити.

Зокрема, розглянемо інфраструктуру, яка взаємодіє з інформаційними сервісами в смарт-контракті.

Система замовника генерує замовлення (завдання), кожне з яких має індивідуальну послідовність операцій та відповідні запитувані інформаційні сервіси.

Залучення декількох постачальників послуг призводить до появи альтернативних варіантів дизайну блокчейну та смарт-контракту.

З точки зору планування, розглядаємо індивідуальну систему, що складається з паралельних однотипних станцій, які здатні виконувати певні технологічні операції.

Перше завдання – спроектувати процес, тобто призначити операції та послуги станціям на кожному етапі логістичного процесу.

Друге завдання полягає у визначенні послідовності операцій та послуг в ІТ інфраструктурах.

Вважатимемо, що обидва завдання будуть вирішуватися одночасно.

Особливістю задачі, що розглядається, є одночасний розгляд як вибору структури технологічного процесу, так і призначення операцій.

З одного боку, задача призначення є дискретною за своєю природою і вимагає введення бінарних змінних, тобто в цьому випадку доречні методи дискретної оптимізації.

З іншого боку, інформаційні послуги можуть бути точно описані в термінах безперервної оптимізації.

Ланцюг поставок моделюється як мережева керована система, що описується через динамічну інтерпретацію виконання послуги.

Запропоновано дві спільні моделі управління процесом.

Модель управління (M1) спочатку використовується для опису графіка процесу управління матеріальними потоками, а потім інша модель управління (M2) використовується для опису інформаційних послуг, які повинні бути заплановані і виконані в блокчейні.

Розглянемо множину загальних припущень та параметрів.

Приймемо множину замовлень клієнтів B_v ($v = 1, \dots, S$).

Позначимо $A_{v\theta}^{(o,j)}$ як послуги у процесі матеріального потоку ланцюга поставок (позначимо як $^{(o)}$), де $\theta = 1, \dots, G$ порядковий номер послуги.

Послуги логічно розташовані в тій послідовності, у якій вони повинні бути виконані для реалізації замовлення клієнта.

Розглянемо множину елементів ланцюга поставок $K = \{K^{(j)}, j \in N, N = 1, \dots, n\}$, які можуть надавати послуги.

Позначимо $S_{v\theta}^{(f,j)}$ як сервіси у блокчейні (позначимо як (f)), кожен з яких також належить до порядку B_v .

Прийmemo $\gamma_i^{(o)}$ та $\gamma_i^{(f)}$ як заплановані обсяги обробки матеріальних та інформаційних послуг відповідно.

Позначимо $\varphi(t)$ як елемент матриці просторово-часових обмежень ($\varphi(t) = 1$, якщо $t_0^q < t \leq t_f^q$, $\varphi(t) = 0$ в іншому випадку), де q – кількість часових вікон, доступних для виконання послуги, наприклад, через доступність машини або обслуговування інформаційної системи.

Якщо послуга завершена, то з'являється канал для переходу до наступного етапу у процесі.

Позначимо множину цих зв'язків продавець-покупець у Ланцюг поставок як $V^{(\eta)}, \eta \in \bar{N}$, де індекс μ використовується для позначення безпосереднього приймача продукту.

Якщо зв'язок існує, то потоки $L^{(i,j)} = \{L_{<\theta\psi>}^{(i,j)}\}$ з'являються, де $\theta = 1, \dots, s_i$, $\psi = 1, \dots, \psi_i$ – перерахування потоків.

Час налагодження є незалежним і включений у час обробки.

Вважатимемо, що витрати є лінійною функцією від обсягів поставок.

Позначимо $r_{v\theta\eta}^{(f,i)}$ як фактичну інтенсивність виконання послуги в $K_x^{(f,j)}$ по відношенню до послуги $S_{v\theta}^{(f,j)}$ та $e_x^{(j)}$, $V_x^{(j)}$, $\Phi_x^{(j)}$ як максимальну інтенсивність обробки послуги $S_{v\theta}^{(f,j)}$ при $K_x^{(f,j)}$, максимальну пропускну здатність K_j та максимальну продуктивність $K_x^{(f,j)}$

Нехай t – поточний момент часу, $T = (T_0, T_f]$ горизонт планування (напр. Наприклад, час відновлення, а $T_0(T_f)$ – початковий (кінцевий) момент часу для горизонту планування, відповідно.

Прийmemo $\beta_{v\theta}^{(o,j)}(\tau)$ – задані часові функції для оцінки обсягу виконаної

Нехай послуги $S_{v\theta}^{(f,j)}$ або штрафних санкцій за невиконання.

Прийmemo $\alpha_{v\theta x}^{(f,j)}$ – функції штрафів, які вважаються відомими і характеризують моменти часу, коли штрафи зростають через порушення термінів постачання.

Для того, щоб описати виконання сервісів, введемо наступні змінні стану системи:

- $\lambda_{v\theta}^{(o,j)}, \lambda_{v\theta}^{(f,j)}$, які характеризують виконання послуг $S_{v\theta}^{(o,j)}, S_{v\theta}^{(f,j)}$ у порядку $B_v^{(o,j)}$ у K_j ;
- $\lambda_x^{(f,j)}$, що характеризує загальний час зайнятості $K_x^{(f,j)}$;
- $\lambda_{xq}^{(\psi,1)}(t)$, що характеризує поточний стан $S_{xq}^{(\psi,j)}$;
- $\lambda_x^{(\psi,2)}(t)$, яка є допоміжною змінною, що характеризує поточний стан обробки послуги. Її значення чисельно дорівнює інтервалу часу, що пройшов з моменту завершення обслуговування в точці $K_x^{(f,j)}$.

Введемо змінні управління.

- $r_{v\theta\eta}^{(f,j)}(t)$ – керування, яке дорівнює 1, якщо послуга $S_{v\theta}^{(o,j)}$ виконується в K_j , інакше $r_{v\theta\eta}^{(f,j)}(t) = 0$. $w_{v\theta\eta}^{(f,j)}$ – керуюча змінна, яка дорівнює 1, якщо послуга $S_{v\theta}^{(f,j)}$ виконується в $K_x^{(f,j)}$ і дорівнює 0 в іншому випадку.
- $\tilde{v}_{v\theta x}^{(f,j)}$ – допоміжна керуюча змінна, яка дорівнює 1, якщо виконання послуги $S_{v\theta}^{(o,j)}$ повністю завершено і дорівнює 0 у протилежному випадку.
- $v_{x\delta q}^{(\psi,1)}(t)$ – контроль, який дорівнює 1, якщо послуга $S_{xq}^{(\psi,j)}$ для $K_x^{(f,j)}$ виконується при $K_\delta^{(\psi,j)}$; інакше $v_{x\delta q}^{(\psi,2)} = 0$;

- $v_x^{(\psi,2)}(t)$ – допоміжний контроль, який дорівнює 1, якщо обслуговування на $K_x^{(f,j)}$ завершено, інакше $v_x^{(\psi,2)} = 0$.

Цілі вимірюються часом доставки замовлень клієнтам і витратами на обсяг доставлених замовлень.

Ці цілі відповідають практичним ключовим показникам ефективності рівня обслуговування клієнтів та надійності доставки.

Рівень обслуговування клієнтів вимірюється як функція від фактичного часу доставки.

Всі замовлення повинні бути виконані до часу T_f .

В іншому випадку з'являються штрафи за перерви в доставці або відставання від графіка, відповідно до заданих штрафних функцій $\alpha_{v\theta x}^{(f,j)}$ та $\beta_{i\mu}(\tau)$, відповідно.

Надійність постачання вимірюється обсягами $r_{v\theta}^{(o,j)}$ виконаних робіт за умови дотримання запланованих обсягів (тобто повнотою виконання замовлення).

2.2.1 Модель управління матеріальним процесом та операціями модель контракту

Динаміка виконання послуг $S_\eta^{(i)}$ може бути виражена як (2.1):

$$\frac{d\lambda_{v\theta}^{(o,j)}}{dt} = \sum_{\eta=1}^{\kappa_j} r_{v\theta\eta}^{(o,j)}. \quad (2.1)$$

Сенс виразу (2.1) полягає в представленні динаміки виконання послуги, у якій відображається нестационарність процесу та динаміки виконання.

Змінна стану $\lambda(t)$ акумулює виконаний обсяг послуги, що розглядається. Керуючі впливи обмежені у вигляді (2.2)-(2.6):

$$\sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\theta=1}^{s_v} r_{v\theta\eta}^{(o,j)}(t) \leq 1, \forall \eta; \sum_{\eta=1}^{\kappa_j} r_{v\theta\eta}^{(o,j)}(t) \leq 1, \forall v, \forall \theta; \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n r_{v\theta\eta}^{(o,j)} \left[\sum_{\alpha \in G_{i\eta_1}^-} (\gamma_{i\alpha}^{(o)} - \lambda_{i\alpha}^{(o)}) + \prod_{\beta \in G_{i\eta_2}^-} (\gamma_{i\beta}^{(o)} - \lambda_{i\beta}^{(o)}) \right] = 0; \quad (2.3)$$

$$\sum_{\eta=1}^{k_j} r_{v\theta\eta}^{(o,j)} \left[\left(\gamma_{v(\theta-1)}^{(o,j)} - \lambda_{v(\theta-1)}^{(o,j)} \right) + \left(\gamma_{v\theta}^{(f,j)} - \lambda_{v\theta}^{(f,j)} \right) \right] = 0; \quad (2.4)$$

$$0 \leq r_{v\theta\eta}^{(o,j)}(t) \leq 1, \forall v, \forall \theta, \forall \eta; \quad (2.5)$$

$$r_{v\theta\eta}^{(o,j)}(t) \in \{0,1\}. \quad (2.6)$$

де $G_{i\eta_1}^-, G_{i\eta_2}^-$ – набори номерів послуг, які безпосередньо передують цій послугі, за умови завершення всіх або хоча б однієї з них, відповідно.

Рівняння (2.2) показує, що тільки одна послуга може бути виконана на елементі Ланцюг поставок одночасно.

Обмеження (2.3) приносить в модель природну логіку часу і визначає відношення пріоритету.

Обмеження (2.4) визначає можливість доставки продукту ψ -потоків μ -клієнта.

Обмеження (2.5)-(2.6) відображають інтенсивність обробки обслуговування.

Згідно з рівнянням (2.6), керування містить значення булевих змінних.

Для того, щоб оцінити результати виконання замовлення, визначимо наступні початкові та кінцеві умови:

$$\lambda_{v\theta}^{(o,j)}(T_0^j) \in 0; \quad (2.7)$$

$$\lambda_{v\theta}^{(o,j)}(T_f^j) = \gamma_{v\theta}^{(o,j)}, \forall v, \forall \theta; \quad (2.8)$$

Обмеження (2.7) відображають, що напочатку обсяг виконаних послуг дорівнює нулю (якщо певний обсяг замовлень переноситься з попереднього планового періоду на початок поточного планового періоду, то це має бути відображено в (2.7)).

Умови (2.8) відображають бажаний кінцевий стан. Праві частини рівнянь (8) визначаються наперед на етапі планування з урахуванням обсягів (тобто розмірів партій) кожного замовлення.

Відповідно до постановки задачі, введемо наступні показники ефективності:

$$J_1^{(o,j)} = \sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\theta=1}^{s_v} \sum_{\eta=1}^{\kappa_j} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} \beta_{v\theta}^{(o,j)}(\tau) r_{v\theta\eta}^{(o,j)}(\tau) d\tau; \quad (2.9)$$

$$J_2^{(o,j)} = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\theta=1}^{s_v} (\gamma_{v\theta}^{(o,j)} - \lambda_{v\theta}^{(o,j)}(t_f^{(j)}))^2. \quad (2.10)$$

Індикатор J_1 (2.9) стосується штрафних санкцій за порушення термінів поставки.

Цільовий індикатор J_2 (2.10) характеризує точність виконання кінцевих умов, тобто рівень обслуговування.

Обмеження (3) гарантують, що всі замовлення будуть повністю виконані, тобто запланований рівень обслуговування може бути досягнутий.

Аналіз обмежень (2.3) показує, що управління $r(t)$ вмикається лише тоді, коли необхідні послуги-попередники були виконані. $\sum_{\eta=1}^{\kappa_j} r_{v\theta\eta}^{(o,j)} [(\gamma_{v(\theta-1)}^{(o,j)} - \lambda_{v(\theta-1)}^{(o,j)}) = 0$ гарантує повну обробку послуг-попередників, а $\sum_{\eta=1}^{\kappa_j} r_{v\theta\eta}^{(o,j)} (\gamma_{v\theta}^{(f,j)} - \lambda_{v\theta}^{(f,j)}) = 0$ – поточних послуг.

При цьому обмеження (2.3) визначають можливість доставки до клієнта $\bar{V}^{(\mu)}$ згідно з потоком продукції $L_{<s_i\psi>}^{(i,\mu)}$ з використанням $K^{(j)}$.

2.2.2 Математична модель управління потоками та інформаційними процесами

Опишемо процес виконання послуг у вигляді формалізованих виразів (2.11)-(2.13):

$$\frac{\lambda_{v\theta}^{(f,j)}}{dt} = \sum_{x=1}^{c_j} r_{v\theta x}^{(f,j)}, \quad (2.11)$$

$$\frac{\lambda_{v\theta}^{(f,j)}}{dt} = \sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\theta=1}^{s_j} k_{v\theta x}^{(f,j)}, \quad (2.12)$$

$$\frac{\lambda_{v\theta}^{(f,j)}}{dt} = \tilde{v}_{v\theta x}^{(f,j)}. \quad (2.13)$$

Контрольні дії обмежені наступним чином:

$$0 \leq r_{v\theta x}^{(f,j)}(t) \leq \left[e_{v\theta x} \left(1 - v_x^{(\psi,2)} \right) + \bar{e}_{v\theta x} v_x^{(\psi,2)} k_{v\theta x}^{(f,j)}; \right] \quad (2.14)$$

$$\tilde{v}_{v\theta x}^{(f,j)} \left(\lambda_{v s_v}^{(f,j)} - \lambda_{v s_v}^{(f,j)} \right) = 0; \quad (2.15)$$

$$\sum_{x=1}^{c_j} k_{v\theta x}^{(f,j)} \left(\lambda_{v(\theta-1)}^{(f,j)} - \lambda_{v(\theta-1)}^{(f,j)} \right) = 0; \quad (2.16)$$

$$\sum_{x=1}^{c_j} k_{v\theta x}^{(f,j)} \leq 1, \forall \theta, \forall v; \quad (2.17)$$

$$0 \leq k_{v\theta x}^{(f,j)}(t) \leq 1. \quad (2.18)$$

Обмеження (2.14) відображає можливості обробки обслуговування щодо $K_x^{(f,j)}$.

Обмеження (2.15) та (2.16) визначають наслідок обробки послуг $S_{v\theta}^{(f,j)}$ $v\chi$, $S_{v(\theta-1)}^{(f,j)}$ з урахуванням відповідних послуг $S_{v\theta}^{(o,j)}$, $S_{v(\theta-1)}^{(o,j)}$ процесу управління матеріальним процесу управління матеріальним потоком.

Обмеження (2.17) і (2.18) означають, що в даний момент часу обробка послуги $S_{v\theta}^{(f,j)}$ може бути виконана за час $K_x^{(f,j)}$.

Граничні умови (2.19)-(2.22) задають значення змінних $\lambda_{v\theta}^{(f,j)}$, $\lambda_x^{(f,j)}$ на початку та в кінці періоду планування періоду $t_0^{(j)}$ $t_f^{(j)}$ і може бути записана наступним чином:

$$\lambda_{v\theta}^{(f,j)}(t_0^{(j)}) = 1; \quad (2.19)$$

$$\lambda_x^{(f,j)}(t_0^{(j)}) = 0; \quad (2.20)$$

$$\lambda_{v\theta}^{(f,j)}(t_f^{(j)}) = \gamma_{v\theta}^{(f,j)}; \quad (2.21)$$

$$\lambda_{v\theta}^{(f,j)}(t_f^{(j)}) = C^1; \quad (2.22)$$

Їх значення аналогічне значенню показників у моделі М1. Показники ефективності визначаються у вигляді рівнянь (2.23)-(2.26):

$$J_1^{(f,j)} = \sum_{v=1}^{n_j} \sum_{\theta=1}^{s_v} \sum_{\eta=1}^{k_j} \int_{t_0^{(j)}}^{t_f^{(j)}} \alpha_{v\theta x}^{(f,j)}(\tau) k_{v\theta x}^{(f,j)}(\tau) d\tau; \quad (2.23)$$

$$J_2^{(f,j)} = \sum_{x=1}^{C_j} (T^{(j)} - \lambda_x^{(f,j)}(t_f^{(j)}))^2; \quad (2.24)$$

Індикатор (2.23) характеризує точність виконання кінцевих умов, тобто рівень обслуговування.

Показник (2.24) оцінює загальний час обробки інформації в блокчейні.

Процес проектування смарт-контракту в ланцюзі поставок можна сформулювати як наступну задачу оптимального програмного управління: необхідно знайти допустиме управління $r(t)$, $t \in (T_0, T_f]$, яке забезпечує вектор функцій обмежень $\mathbf{z}^{(1)}(\lambda, r) = \mathbf{0}$, $\mathbf{z}^{(2)}(\lambda, r) \leq \mathbf{0}$, (2)-(6), (14)-(18) виконуються для

моделі, яка керується (2.1), (2.11)-(2.13) і керує динамічною системою (тобто Ланцюг поставок) $\dot{\lambda} = f(\lambda, r, t)$ з початкового стану до заданого кінцевого.

Програмне управління виконання послуг одночасно є оптимальним смарт-контрактом ланцюга поставок.

Сформульована модель є лінійною, нестационарною, скінченновимірною керованою диференціальною системою з опуклою областю допустимого керування.

Даний підхід має лінійну структуру як за змінними стану, так і за керуванням, і цільова задача також є лінійною.

Перенесення нелінійності на обмеження забезпечує опуклість і дозволяє використовувати інтервальні обмеження.

Для такого типу моделей моделей доведено як достатні, так і необхідні умови оптимальності.

Можна зазначити, що розроблений комплекс багаторівневого моделювання може бути застосований для дослідження та розв'язання різних проблемних областей при аналізі та синтезі ланцюга поставок з урахуванням різних взаємопов'язаних процесів.

2.3 Апробація запропонованих моделей

Спрощене налаштування системи для розробленого підходу показано на рисунку 2.2, де розглядаються дві моделі M1 і M2 та три продукти, які змінюють свій стан у динаміці.

Процес моделювання подано у вигляді трьох робочих місць IT-інфраструктури, кожне з яких характеризується послідовністю операцій Д1-Д2-Д3, які можуть виконуватися як на M1, так і на M2.

Як машини, так і фізичні продукти обладнані датчиками, і між цими датчиками встановлюється протокол зв'язку відповідно до розробленого смарт-контракту.

Давачі спостерігають за використанням вузла ІТ-інфраструктури, та обробкою операцій відповідно до трьох станів: "в процесі", "в очікуванні" та "завершено".

Алгоритм планування активується у разі наступних подій в протоколі зв'язку ІТ-інфраструктури:

- вузол ІТ-інфраструктури сигналізує про завершення обробки операції і принаймні одна операція знаходиться в стані "очікування" або "завершена";
- продукт сигналізує про завершення обробки операції на вузлі ІТ-інфраструктури і принаймні один вузол ІТ-інфраструктури знаходиться в стані "очікування" або "завершена";
- принаймні один вузол ІТ-інфраструктури і одна операція знаходяться в стані "очікування".

Цей випадок ілюструє сценарії, у яких може бути застосоване моделювання, оскільки часті комунікації та повторна оптимізація запитів на отримання оновленої інформації відбуваються у різні моменти часу.

Розроблений експериментальний прототип містить інструмент моделювання процесів, реалізований на мові BPMN (Business Process Model and Notation), алгоритм планування, реалізований на мові Python, та інструмент перевірки розкладу, реалізований як надбудова над симуляцією.

У інструменті моделювання процесів процеси ланцюги поставок можуть бути описані за допомогою діаграм процесів BPMN.

Окремі кроки та об'єкти процесу використовуються для налаштування параметрів моделі.

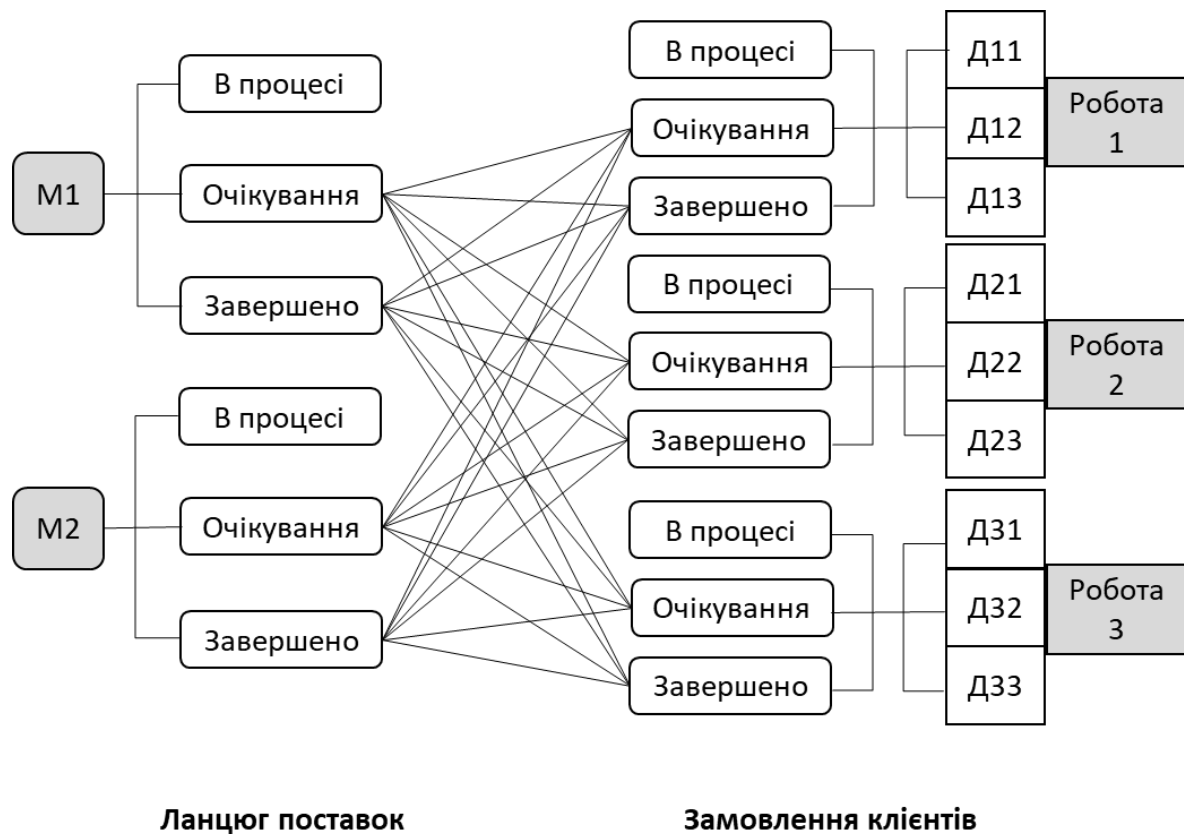


Рисунок 2.2- Кібер-фізична система управління плануванням для розробки смарт-контрактів.

Модель планування генерується автоматично з моделі процесу із заданими параметрами.

Результатом є розроблений смарт-контракт.

Алгоритм планування може бути використаний для вдосконалення ланцюга поставок і проектування процесу шляхом фіксації деяких бажаних вихідних показників і пошуку оптимальних параметрів процесу і структурних властивостей об'єкту дослідження.

Розглянемо приклад застосування розроблених моделей.

Після того, як визначено постачальника (П) і замовника (З), з'являється граф альтернативних варіантів доставки продукту від П до З (рисунок 2.3).

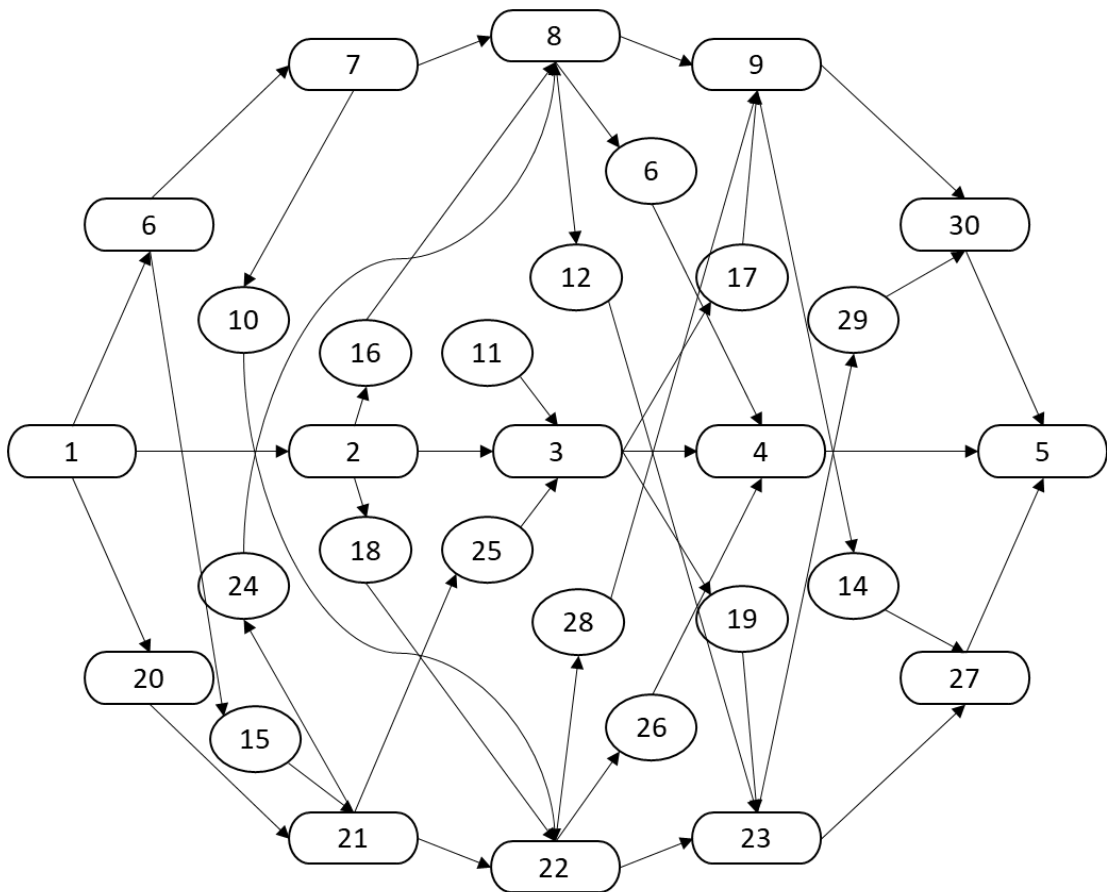


Рисунок 2.3 – Альтернативний графік ланцюга поставок

Операції ланцюга поставок пронумеровані. Операція №1 - це доставка продукту від П, а операція №5 – прибуття продукту до З.

Інші операції виконуються посередниками (перевізниками).

Вихідні дуги відповідають умові "виключення АБО", що означає, що тільки одна з наступних операцій повинна бути виконана.

Одним із зручних способів представлення цього графа є мова BPMN, за допомогою якої описуються операції та їхні параметри.

Зокрема, задаються такі параметри операцій, як заплановані обсяги, потужності та витрати.

Подамо нотацію для вищеописаного прикладу, де код виглядає наступним чином:

```
<tsk id= "operation_1_name" = "trans_from_a_to_b">
<extentElem>
<lt_sys_m: properties_name= "vol" val= "/">
```

```

< ltsm: properties_name = "str" va= "/">
</extentElem>
< ... >

```

Ланцюги процесів, створені в BPMN, перетворюються в модель планування. Дві процедури виконуються інтегровано відповідно до планування функціонування ІТ-інфраструктури, а саме: композиція завдань та композиція послуг.

Вибір шляху для переходу від П до З – це композиція завдань відповідно до моделі (2.1)-(2.8).

Композиція послуг – це комбінація декількох послуг, атомарних або складених, різних посередників для виконання завдання та необхідного набору операцій.

У моделі (2.11)-(2.22) композиція послуг має значення задачі про призначення, де послуги посередників призначаються операціям.

Приклад результату розв'язання задачі для ланцюга поставок ІТ-інфраструктури, зображено на рисунку 2.4.

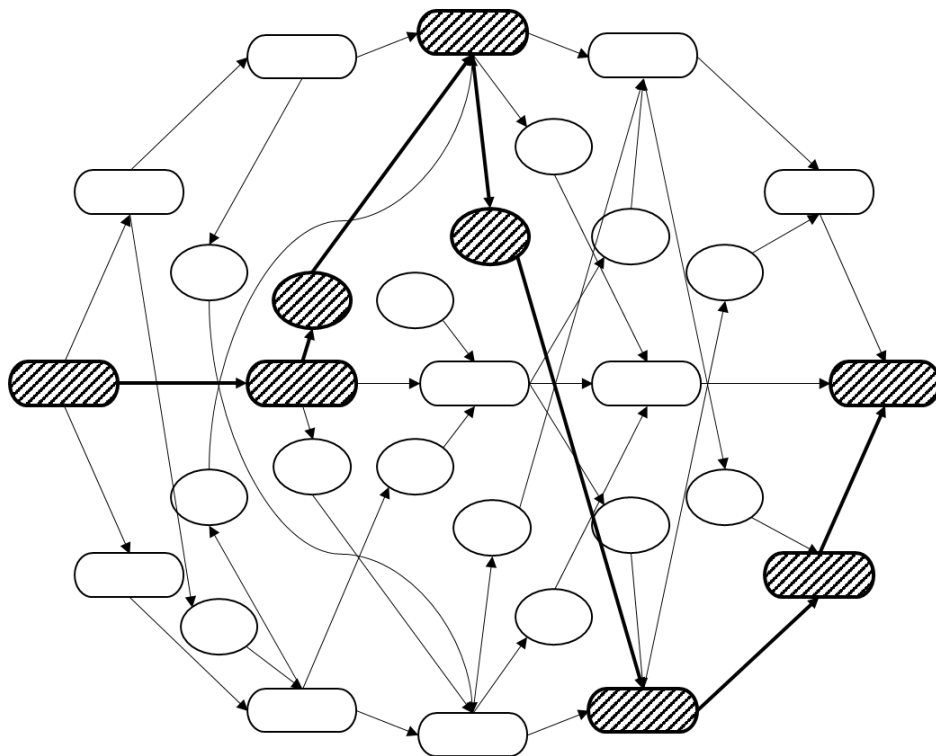


Рисунок 2.4 – Приклад композиції завдання та послуги

Рисунок 2.5 ілюструє обчислювальну процедуру, яка оптимізує розклад з урахуванням часу виконання та витрат (рівняння (2.9), (2.10) та (2.23)).

Алгоритмічна процедура ітеративно перетворює довільний можливий розклад, показаний на рисунку 2.5(а) (тобто початкові умови (7) і (21) моделі планування (21)), в оптимальну траєкторію вектора управління $\tilde{r}(t)$ $t \in (T_0, T_f)$, показану на рисунку 2.5(б).

Можна помітити, що час виконання скоротився на 23%.

Технологія розподіленого реєстру використовується для зберігання оптимізованого розкладу та записів про його реальне виконання.

Смарт-контракт використовується для контролю записів даних про реальне виконання процесу в IT-інфраструктурі та політики підтвердження, що залежить від обраного розкладу та послідовності виконання операцій. Це має особливе значення при переході продукту від одного перевізника до іншого.

Щоб додати запис, його повинні підтвердити дві сторони, які отримують і доставляють товар.

Для виконання процедури контролю тепер можна розробити смарт-контракт за допомогою нашого моделюючого комплексу.

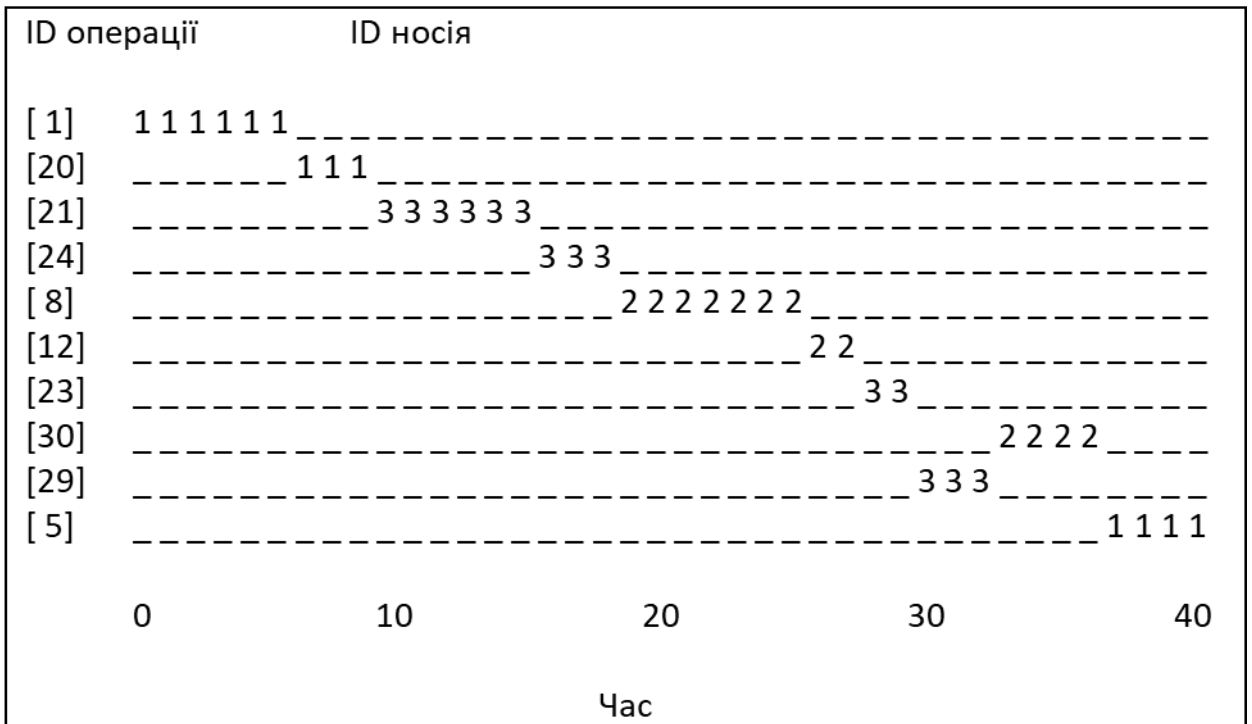
Кожній операції та перевізнику присвоюються унікальні коди разом із запланованим часом початку та завершення операцій.

Згідно з політикою підтвердження на рівні ключів підтверджуються зміни в операціях і станах носіїв.

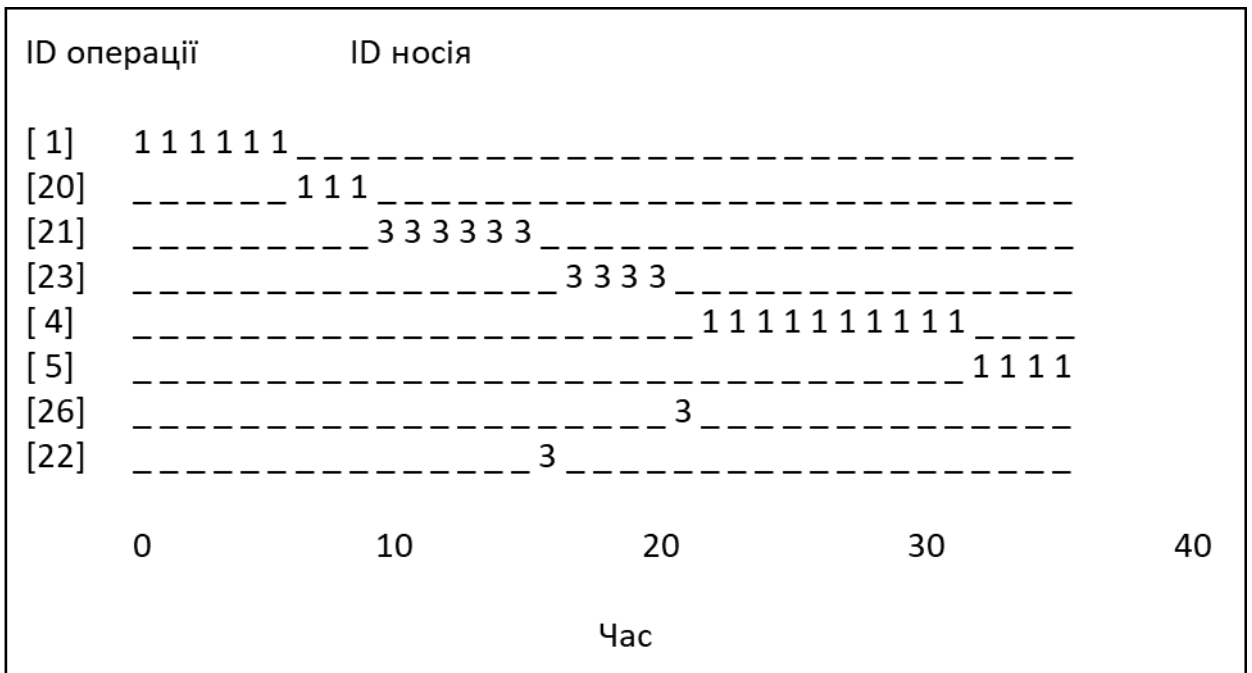
Потім записи поступово додаються до блокчейну відповідно до змін стану очікування та завершення операцій (див. рис. 2.2).

Приклад розробленого смарт-контракту, написаного на мові Go, показано в коді:

У випадку спроби змінити стан операції в реєстрі створюється запит, що буде надіслано всім залученим сторонам.



а) Початкове рішення



б) оптимізоване рішення

Рисунок 2.5 – Процедура розробки смарт-контракту

Завершення операцій також має бути підтверджено в блокчейні всіма залученими сторонами.

Підтвердження перевіряється за допомогою обмежень (2.3), (2.4), (2.15) і (2.16) і підтверджується тільки у випадку реєстрації початку наступних операцій, наприклад, отримання товару та початку відвантаження (рівняння (2.17) і (2.18)).

Після оптимізації розкладу моделюючий комплекс автоматично створює запити до платформи блокчейн, інтегрує розклад в автоматизоване середовище прийняття рішень і налаштовує політики індосаменту.

Хід виконання операцій також автоматизовано шляхом оновлення змінних стану, використовуючи блокчейн і мінімізуючи участь користувача в роботі налаштування ланцюга поставок.

Альтернативний граф процесу потрібно налаштувати лише один раз у нотації BPMN.

Процес (пере)планування автоматично активується у разі відхилень відповідно до подій, зареєстрованих у блокчейні.

2.4 Висновки

У розділі подано процес моделювання смарт-контрактів в процесі керування постачання іт-інфраструктур.

Зокрема формалізовано та описано принцип функціонування смарт-контракту. Також в розділі подано модель смарт-контракту.

Описано модель управління матеріальним процесом та операціями модель контракту, а також наведено математичну модель управління потоками та інформаційними процесами.

3 УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР ЗГІДНО З ТЕХНОЛОГІЄЮ БЛОКЧЕЙН

3.1 Основи удосконаленого методу керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Оскільки метою цієї роботи є дослідження покращення стійкості ланцюга поставок за допомогою запропонованої архітектури на основі блокчейну, першочерговою задачею є представлення математичної моделі задачі виробництва-розподілу, що слугує прикладом задачі ланцюга поставок.

Далі опишемо удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн, присвячених децентралізованому підходу до вирішення проблем.

Реалізація методу повинна бути не тільки функціональною з точки зору кількості, але також практичною та відповідати вимогам клієнтів в середовищі ІТ-інфраструктури.

У запропонованому методі споживачами послуг і виробниками є ті, хто використовує цю архітектуру, і повинно бути забезпечено виконання їх умов за допомогою цієї архітектури.

Виходячи з досліджених літературних джерел, аксіоматичне проектування гарантує, що проект є чітко визначеним і базується на практичних вимогах.

Індустрія 4.0 базується на використанні інформаційних технологій (ІТ) для інтелектуалізації процесів ланцюга поставок. Для реалізації Індустрії 4.0 необхідні різні технології. Трьома основними інфраструктурними технологіями, включеними в реалізацію, є кіберфізичні системи, Інтернет речей (ІоТ) і хмарні обчислення як складові ІТ-інфраструктур.

Застосування вказаних технічних методів роблять процеси та рішення інтелектуальними.

У випадку відсутності технології блокчейн, рішення в Індустрії 4.0 приймають центральні органи (адміністратори), що може призводити до проблем на рівнях ланцюга поставок та мережі поставок.

Технологія блокчейн забезпечує прийняття рішень у запропонованій в цьому дослідженні архітектурі.

З великою кількістю зацікавлених сторін ланцюга поставок виникають численні проблеми та ускладнення, такі як недостатня прозорість та відстеження, складність управління ризиками, взаємний вплив діяльності учасників на інших учасників ланцюга, потреба в репутації та визнанні історії учасників для побудови довіри тощо. Однак завдяки своїй прозорій і децентралізованій структурі, технологія блокчейн може подолати багато таких проблем при вирішенні задачі покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур.

Важливим елементом застосування технології блокчейн в ланцюгу поставок є смарт-контракти. Смарт-контракти є цифровими угодами між сторонами транзакції, записаними у комп'ютерному коді, які передаються в блокчейн і автоматично виконуються при забезпеченні заздалегідь визначених умов. Вони допомагають уникнути непродуктивних процесів прийняття рішень у ланцюгу поставок.

Вдосконалення, яке стало можливим завдяки блокчейну в системі, р – це перехід процесу прийняття рішень від централізованого режиму до розподіленого режиму.

Друге вдосконалення – це впровадження концепції смарт-контрактів, яка значно покращує взаємозв'язок між різними учасниками ланцюга поставок та управління відносинами між ними.

3.1.1 Розподілене прийняття рішень при керування постачання ІТ-інфраструктур

Особи, відомі як майнери, використовують технологію блокчейн для прийняття рішень в Індустрії 4.0, і ця технологія усунула потребу в централізованому підрозділі для вирішення проблем, пов'язаних з прийняттям рішень. Як зазначалося вище, одним з основних принципів технології блокчейн є

механізм консенсусу, що дозволяє будь-якому майнеру, чия відповідь відповідає умовам цього механізму, додати запропонований блок до блокчейну.

З урахуванням умов задачі, застосуємо механізм консенсусу, відомий як доказ оптимальності, у межах якого різні майнери пропонують відповідь на кожну проблему прийняття рішень, намагаючись зробити запропоновану відповідь оптимальним рішенням проблеми. Цілком можливо, що запропоноване ними рішення не буде оптимальним, але вони намагаються зробити свою відповідь не тільки здійсненою, але й близькою до оптимальної. Коли майнер вирішує, що його пропозиція достатньо прийнятна, він представляє її іншим майнерам у децентралізованій мережі.

Якщо жоден інший майнер не пропонує кращого рішення за вказаний проміжок часу, то рішення приймається і додається до блокчейну. Успішний майнер отримує винагороду у вигляді криптовалюти, пропорційну придатності запропонованого ним рішення.

На рисунку 3.1 схематично зображено графік функції винагороди, у якому майнери неохоче надають мережі рішення проблем з низькими показниками придатності.

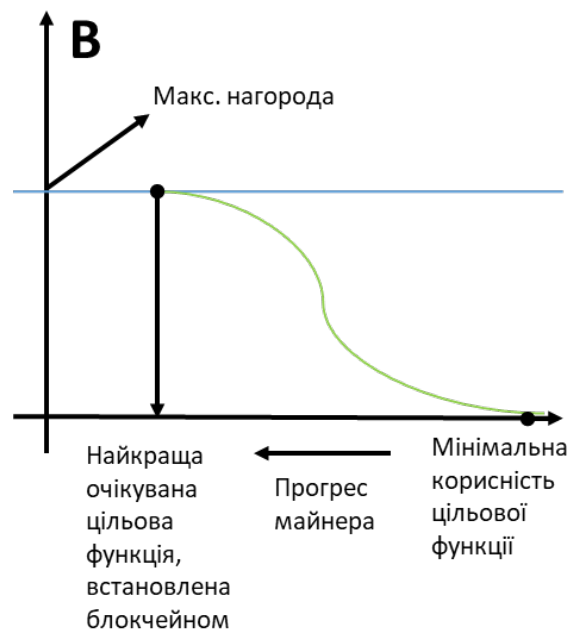
Така ситуація пояснюється тим, що навіть якщо інші майнери не відхиляють їхні рішення, вони не отримують значної винагороди.

Таким чином, майнерам не вигідно витратити багато часу на пошук відмінних рішень, оскільки інший майнер з відносно хорошим рішенням може сформулювати наступний блок, витративши всі зусилля першого майнера на пошук ідеальної відповіді.

У запропонованому методі очікується, що окрім отримання хороших відповідей, буде забезпечено оптимальну швидкість вибору рішень (на основі різних цільових функцій на рисунку 3.1 а) показано функцію винагороди для цільової функції мінімізації, а на рисунку 3.1 б) – функцію винагороди для цільової функції максимізації).



а)



б)

Рисунок 3.1 - Схематичне зображення графіка функції винагороди (синя лінія – верхня межа цільової функції): а) схематичне зображення функції винагороди (червоним кольором) для цільової функції мінімізації; б) схематичне зображення функції винагороди (зеленим кольором) для цільової функції максимізації

У зв'язку з тим, що різні майнери постійно прагнуть вдосконалювати свої алгоритми та обладнання для отримання кращих рішень і більшої винагороди в криптовалюті, заводи або довірені особи в ланцюгу поставок більше не платять за розробку алгоритмів або інфраструктуру. Вони платять лише за використання криптовалюти.

Малі та середні підприємства (МСП) можуть скористатися перевагами цієї моделі, відомої як модель "оплата за використання" в хмарних системах.

Це значно знижує витрати на осідання капіталу і дає їм можливість розвиватися та рости разом з великими компаніями в ланцюгу поставок.

3.1.2 Смарт-контракти при керуванні постачанням ІТ-інфраструктур

Смарт-контракти уможливають зробити взаємодію між різними учасниками ланцюга поставок ІТ-інфраструктур більш керованою.

Смарт-контракти дозволяють відстежувати походження необхідних компонентів ІТ-інфраструктур, здійснювати автоматичну оплату після виконання зобов'язань і призначати незмінні точки у відповідному блокчейні різним постачальникам на основі їхніх записів про отримані компоненти ІТ-інфраструктур.

Смарт-контракти також контролюють кількість замовлень певних компонентів ІТ-інфраструктур на кожного учасника ланцюга постачання і запобігають надмірному замовленню або замовленню меншої кількості певних компонентів, ніж потрібно, крім того, використовують прозорість, яку забезпечує застосування технології блокчейн, щоб дещо зменшити надлишковість в ланцюгу поставок.

Запропонований удосконалений метод покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн за допомогою смарт-контрактів дозволяє створювати децентралізовані ланцюги поставок.

Зокрема метод удосконалений метод включає застосування смарт-контрактів саме в децентралізованому ланцюгу поставок для розподілу доходів та контрактів на оптові ціни компонентів IT-інфраструктур.

Це дозволить визначити оптимальні параметри смарт-контрактів для всього ланцюга.

Використання смарт-контрактів є вигідним як для постачальника, так і для покупця компонентів IT-інфраструктур і допомагає знизити можливість несплати протягом кредитного періоду для постачальника і гарантує своєчасну доставку та відстеження компонентів IT-інфраструктур для покупця.

3.2. Математична модель процесу забезпечення стійкості ланцюга поставок IT-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн

У дослідженні застосовано механізм консенсусу під назвою "доведення оптимальності", в якому різні майнери намагаються вирішити оптимізаційну задачу в децентралізованому середовищі.

Різні майнери намагаються вирішити частину основної проблеми, і кожен майнер, який знаходить оптимальний розв'язок швидше, публікує свій розв'язок в мережі.

Такий механізм консенсусу слід дослідити з економічної, екологічної та соціальної точок зору, щоб розглянути його з точки зору стійкості ланцюга поставок.

У запропонованому методі пропонується, що майнери монетизуватимуть мікрообчислювальні ресурси (завдання, яке нелегко вирішити в централізованому режимі).

Таким чином, запропонований метод буде здатним вирішити задачу оптимізації швидше, ніж централізована модель.

Існує пряма залежність між часом розв'язання задачі та енергоспоживанням обчислювальних ресурсів. Тому, споживання енергії зменшується, а

навколишньому середовищу завдається менше шкоди, і можна досягти екологічних цілей сталого розвитку.

Крім того, скорочення часу на розв'язання оптимізаційних задач призводить до підвищення продуктивності та зниження витрат у всій системі, що відповідає економічним цілям сталого розвитку. Системні витрати також знижуються завдяки монетизації невикористаних мікрообчислювальних ресурсів, і немає потреби у використанні централізованих мікрообчислювальних систем; витрати базуються тільки на оплаті за фактичне використання, що є економічною метою сталого розвитку.

У дослідженні розглядається задача планування функціонування ІТ-інфраструктури з великим масштабом, щоб порівняти швидкість запропонованої моделі з централізованою моделлю для вирішення оптимізаційної задачі, яку неможливо вирішити точними методами за короткий час через розмірність і характер задачі. Проблема вирішується в різних централізованих і розподілених умовах.

Будемо розглядати ІТ-інфраструктури, в якій N компонентів, розподілених по різних місцях, пропонують різні типи послуг. Згідно з умовами обмежених ресурсів, кожен виробник надає певний набір послуг. Завдання подаються на ІТ-інфраструктуру споживачами послуг, де кожне завдання має кінцевий термін виконання, і будь-яка затримка призводить до штрафу, який необхідно сплатити.

Крім того, в залежності від необхідної послуги, кожне завдання розбивається на кілька підзавдань.

Менеджер призначає виробникам підзадачі для кожного завдання, щоб оптимізувати продуктивність.

Для певної підзадачі декілька виробників пропонують різні виробничі витрати та час обробки. Крім того, для розподілу завдань між різними виробниками доступні численні види транспорту, кожен з яких має встановлену питому вартість і рівень викидів вуглекислого газу за кожен одиницю часу в дорозі.

Оскільки швидкості різних видів транспортування різняться, час у дорозі між двома виробниками також різниться для кожного з них. Крім того, кожна

транспортна система отримує від уряду квоту на викиди вуглецю, і якщо її викиди вуглецю перевищують цей ліміт, вона повинна сплатити штраф.

Час виконання кожного завдання враховує час обслуговування, час очікування та час транспортування.

Для першої підзадачі ми припускаємо, що кожне завдання безкоштовно транспортується від штучного вузла до призначеного виробника для отримання необхідного типу послуг.

Після завершення кожне завдання має бути доставлене до відповідного вузла призначення. Як наслідок, передбачається, що кожне завдання має підзадачу з нульовим часом обробки, яка повинна бути виконана у вузлі призначення. Інші припущення, пов'язані з цією моделлю, наведені нижче:

- кількість завдань, виробників та підзадач відома;
- кожен тип транспортних засобів доступний у будь-який час;
- кожен транспортний засіб може перевозити тільки одну підзадачу в кожному своєму русі, можливість перевезення двох або більше підзадач одночасно відсутня;
- всі параметри детерміновані;
- допускається затримка після дедлайну, і немає обмежень на величину затримки.

Таблиця 3.1 – Індексні параметри, що беруть участь в описі математичної моделі

Індекси	Опис
e, e'	Індекси задач
a, a'	Індекси підзадач
i, j	Індекси вузлів, виробників та споживачів послуг
t, t'	Індекси видів транспорту
s	Індекс типу послуги

Таблиця 3.2 – Параметри, що беруть участь в описі математичної моделі

Параметри	Опис
n	Множина вузлів, що включає виробників та споживачів послуг, $n = (1, \dots, N + 1, \dots, N + T)$
S	Множина задач, $S = (1, \dots, S)$
N_e	Кількість підзадач задачі e
P_{ae}	Множина виробників, що забезпечують a -ту підзадачу задачі e
P_s	Множина підзадач вимагає типу обслуговування s
RT_{aej}	Час, який потрібен вузлу i для обробки a -ої підзадачі задачі e
C_{is}	Максимальна пропускна здатність вузла i для типу послуги s
RC_{aei}	Вартість одиниці обробки a -ої підзадачі задачі e у вузлі i
SS_{ijt}	Час, необхідний для подорожі між вузлами i та j видом транспорту t
SC_t	Вартість перевезення одиниці вантажу видом транспорту t
k_{ae}	Індекси видів послуг, необхідних для s -ї підзадачі задачі e
d_e	Термін виконання задачі e
SP_e	Штраф за запізнення за одиницю часу для задачі e
F_t	Викиди вуглецю на одиницю відстані для виду транспорту t
Q	Квота на викиди

Таблиця 3.3 – Змінні, що беруть участь в описі математичної моделі

Змінні рішення	Опис
x_{aeit}	1, якщо а-та підзадача задачі S доставляється у вузол і транспортним засобом t для отримання необхідної послуги; 0, інакше
BS_{aei}	Час початку обробки а-ої підзадачі задачі е у вузлі і
$\psi_{(a+1)eijt}$	1, якщо а-та підзадача задачі е виконується вузлом і, а потім вузол j отримує необхідну послугу для (а + 1)-ї підзадачі за допомогою виду транспорту t; 0, інакше
$\lambda_{aea'e'i}$	1, якщо час початку обробки а-ої підзадачі задачі е пізніше, ніж час початку обробки а'-ої підзадачі задачі е' у вузлі і, інакше 0
CS_e	Час виконання завдання е
D_e	Затримка завдання е

Задамо цільовою функцією $\min Z$ (3.1) як мінімізація витрат системи, включаючи витрати на переробку, транспортні витрати:

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_e \sum_{a \leq N_e} \sum_{i \in P_{ae}} \sum_t RC_{aei} RT_{aei} x_{aeit} + \\ & + \sum_e \sum_{a \leq N_e} \sum_{i \in P_{ae}} \sum_{i \in P_{(a+1)e}} \sum_t SC_t SS_{ijt} \psi_{(a+1)eijt} + \sum_{e \in S} SP_e D_e + F_c \end{aligned} \quad (3.1)$$

Задамо вираз рівняння (3.2) яке стверджуватиме, що кожна підзадача кожної задачі повинна бути виконана виробником:

$$\sum_{i \in P_{ae}} \sum_t x_{aeit} = 1 \quad \forall e, a < N_e. \quad (3.2)$$

Задамо обмеження (3.3), яке зазначатиме, що підзадача завдання обробляється виробником тільки тоді, коли один з видів транспорту отримує попередню підзадачу, яка обробляється виробником, і доставляє її обраному виробнику для цієї підзадачі:

$$\sum_{t'} x_{aeit'} + x_{(a+1)ejt} - \psi_{(a+1)eijt} \leq 1 \quad \forall e, a < N_e, i \in P_{ae}, j \in P_{(a+1)e}, e. \quad (3.3)$$

Задамо обмеження (3.4) стверджує, що виробник може виконати тільки ту підзадачу завдання, яка доставлена одним з доступних видів транспорту.

$$x_{(a+1)ejt} - \sum_i \psi_{(a+1)eijt} \geq 0 \quad \forall e, a < N_e, j \in P_{(a+1)e}, e. \quad (3.4)$$

Задамо обмеження (3.5), яке вказуватиме на те, що підзадачі завдання повинні бути виконані:

$$BS_{(a+1)ej} + M(1 - \sum_t x_{(a+1)ejt}) \geq BS_{aei} + RT_{aei} + \sum_t SS_{ijt} \psi_{(a+1)eijt} + M(\sum_t x_{aeit} - 1) \quad \forall e, a < N_e, i \in P_{ae}, j \in P_{(a+1)e}. \quad (3.5)$$

Обмеження (3.6) та (3.7) планують виконання підзадач з однаковим типом обслуговування:

$$BS_{aei} \geq BS_{a'e'i} + \sum_t RT_{a'e'i} x_{a'e'it} + M(\lambda_{ae'a'i} - 1) \quad \forall e, e', a \leq N_e, a' \leq N_{e'}, k_{ae} = k_{a'e'}, i \in (P_{ae} \cap P_{a'e'}) \quad (3.6)$$

$$BS_{a'e'i} \geq BS_{aei} + \sum_t RT_{aej} x_{aeit} - M\lambda_{aea'e'i} \quad \forall e, e', a \leq N_e, a' \leq N_{e'}, k_{ae} = k_{a'e'}, i \in (P_{ae} \cap P_{a'e'}) \quad (3.7)$$

Опишемо рівняння (3.8) і (3.9), які обчислюватимуть час затримки в обробці кожної визначеної задачі.

$$CS_e = \text{Max}\{BS_{aei}\}, \forall e, a \leq N_e, i \in P_{ae} \quad (3.8)$$

$$D_e = \text{Max}(CS_e - d_e, 0), \forall e \in S \quad (3.9)$$

Задамо обмеження (3.10) вказує на ресурсні обмеження кожного визначеного виробника.

$$\sum_t \sum_{e, a \in P_s} RT_{aej} x_{aeit} \leq C_{is} \quad \forall i, s \quad (3.10)$$

Задамо обмеження (3.13) і (3.14) визначають тип і знак змінних.

$$x_{aeit}, \lambda_{aea'e'i}, \psi_{(a+1)eijt} \in \{0,1\}, \forall e, e', a \leq N_e, a' \leq N_{e'}, i, j, t \quad (3.11)$$

$$BS_{aei}, CS_e, D_e, CG, EC \geq 0, \forall e, a \leq N_e, i. \quad (3.12)$$

3.3 Процесу забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур у великому масштабі

Для розв'язання задачі у великому масштабі застосовано генетичний алгоритм.

3.3.1 Початкова популяція

Запропонована хромосома має три підланцюжки, довжина кожного з яких дорівнює загальній кількості доступних підзадач, яку необхідно виконати у відповідній ІТ-інфраструктурі.

Задана довжина обчислюється шляхом підсумовування підзадач кожної задачі.

Наприклад, якщо в IT-інфраструктурі є три задачі, які необхідно виконати, і кожна з них має п'ять підзадач, довжина кожного підрядка дорівнюватиме 15, у результаті чого загальна довжина хромосоми буде 45. Загальна структура хромосоми показана на рисунку 3.2.

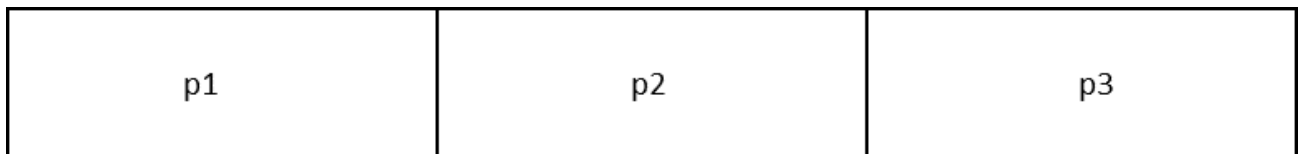


Рисунок 3.2 - Будова хромосоми

Числа в P_1 вказують на порядок підзадач в межах кожного завдання, тоді як числа в P_2 вказують на індекс виробника.

Таким чином, цей підланцюжок, разом з P_1 , вказує, який виробник обробляє кожну підзадачу кожного завдання.

Аналогічно, числа в P_3 вказують на індекс для кожного виду транспорту для IT-інфраструктури.

Таким чином, гени в P_3 визначають вид транспорту, який використовується для доставки кожної підзадачі до призначеного виробника i , в кінцевому підсумку, до місця призначення.

3.3.2 Фітнес-функція

Мета алгоритму – це знаходження рішення з найвищою пристосованістю. Якщо z_i це значення цільової функції для хромосоми i , то можна обчислити пристосованість цієї хромосоми як $\frac{1}{z_i}$.

3.3.3 Генетичні оператори

Ці оператори допомагають генетичному алгоритму наблизитися до глобального оптимального рішення. Оператор кросинговеру сприяє збіжності, а оператор мутації вносить різноманітність у згенеровані розв'язки

Кросовер. Оскільки кожна хромосома складається з трьох підланцюжків. Для виконання кросинговеру на кожному підланцюжку використовується двоточковий кросинговер. У підрядках P_2 і P_3 оператор кросинговеру не генерує неузгоджених розв'язків (неузгоджений розв'язок - це такий, у якому кожна підзадача кожної задачі не призначена виробнику), але оператор кросинговеру в підрядку P_1 може генерувати такі розв'язки. Для вирішення цієї проблеми виконується процес корекції. У цьому процесі кожна дитина успадковує середній сегмент від одного з батьків, тоді як у бічних сегментах вона успадковує ген від іншого батька до тих пір, поки це не призведе до суперечливого розв'язку. Решта генів заповнюються випадковим чином.

Мутація. До кожного підланцюжка хромосоми застосовується мутація заміни.

3.3.4 Умова зупинки

Якщо найкраще значення пристосованості не змінюється протягом певної кількості послідовних ітерацій, алгоритм зупиняється.

Цей критерій зупинки відомий як критерій збіжності, і він допомагає запобігти нескінченній роботі алгоритму та заощадити обчислювальні ресурси для розв'язку задачі.

3.4. Дослідження запропонованого методу

У методах проектування головною метою є належне узгодження фізичних компонентів з вимогами замовника.

Розглядатимемо чотири загальні області: область замовника, функціональна область, фізична область і область процесу.

У області замовника визначаються очікування та вимоги замовника. Функціональні вимоги (ФВ) у функціональних доменах формулюють потреби технічними словами і виражають те, чого ми хочемо досягти.

Для того, щоб перевести ФВ в операційний і відчутний спосіб, вони відображаються в параметри проектування (ПП), які існують у фізичній області.

Домен процесу складається зі змінних процесу, які визначають, як реалізувати або використовувати параметри проектування.

Процес проектування перетворює вимоги замовника на функціональні вимоги, а потім на параметри проектування.

Взаємозв'язок між двома доменами називається мапуванням, і хороший процес мапування створює ефективний дизайн.

У аксіоматичному дизайні існують дві головні аксіоми з переважаючих принципів інженерної діяльності.

Згідно з аксіомою незалежності, кожен параметр проектування можуть бути скориговані так, щоб задовольнити тільки відповідні їм функціональні вимоги, не впливаючи на інші функціональні вимоги.

Кожні параметри проектування повинні бути визначені незалежно для відповідних функціональних вимог.

Виходячи з інформаційної аксіоми, найкращий дизайн має мінімальний вміст і є функціонально незв'язаним дизайном.

Аксіоматичний дизайн на першому кроці потребує задовільної аксіоми незалежності. Якщо декілька проектів задовольняють аксіомі незалежності, використовується друга аксіома, і найкращим проектом є той, який задовольняє інформаційну аксіому з найкращим результатом.

Матриці перетворення дозволяють представити взаємозв'язок між предметною областю замовника і предметною областю процесу.

Цей взаємозв'язок повинен бути представлений наступним чином, використовуючи векторні нотації:

$$[\text{ФВ}] = [A] \times \text{ПП} \quad (3.13)$$

Матриця A у наведеному вище рівнянні називається матрицею дизайну, яка використовується для оцінки аксіом незалежності.

Якщо ця матриця діагональна, то дизайн називається незв'язаним дизайном, і кожні ПП можус задовольнити відповідні функціональні вимоги незалежно, отже, запропонований дизайн ідеально виконує аксіому незалежності.

Якщо матриця проектування є трикутною, то проект називається розв'язаним проектом.

Якщо послідовність проектування є правильною, то аксіома незалежності виконується.

Остаточний підхід до матриці дизайну полягає в тому, що її зв'язаний стан не є ні діагональним, ні трикутним.

Оскільки кожні параметри проектування не можуть незалежно задовольняти функціональні вимоги, аксіома незалежності в цьому випадку не виконується.

Для верифікації запропонованого методу здійснимо дослідження матриці проектування, заснована на визначенні функціональні вимоги і параметри проектування. Цей підхід використовує зигзагоподібний метод для декомпозиції функціональних вимог і параметри проектування.

Розглянемо функціональні вимоги першого рівня.

Параметри проектування першого рівня. Пропозиція виробничо-розподільчої платформи на основі блокчейну.

Для декомпозиції параметри проектування першого рівня в дослідженні розглядаються п'ять основних функційних вимог (ФВ) другого рівня:

- ФВ01: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна підтримувати транзакцію (запис);
- ФВ02: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна забезпечувати валідацію та прикріплення блоків;
- ФВ03: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна залучати майнерів для підтримки децентралізованого механізму;

– ФВ04: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна забезпечувати механізм консенсусу;

– ФВ05: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну має передбачати механізм мотивації.

Для виконання вищезазначених функціональних вимог для виробничо-розподільчої мережі на основі блокчейну пропонуються наступні параметри проектування (ПП):

– ПП01: кожен набір послуг є транзакцією, якщо він не порушує попередні відповідності;

– ПП02: кожен набір послуг з певною функцією корисності буде приєднаний до блокчейну після перевірки;

– ПП03: майнери намагаються забезпечити близькі до оптимальних набори послуг і оголошують їх для приєднання до блокчейну;

– ПП04: кожен набір складу послуг оголошується і буде приєднаний, якщо він не порушує колишні співвідношення попиту і пропозиції;

– ПП05: кожен набір перевіреного складу послуг може отримати винагороду в залежності від його оптимальності, після чого він буде приєднаний до блокчейну хмарних поставок.

Для дослідження матриці проектування аналізуються залежності функціональних вимог та параметрів проектування, як показано на рисунку 3.3.

Відображення між функціональними вимогами та параметрами проектування на рисунку 3.3 показано стрілками.

Матриця проектування матиме вигляд:

$$\begin{bmatrix} \text{ФВ01} \\ \text{ФВ02} \\ \text{ФВ03} \\ \text{ФВ04} \\ \text{ФВ05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ПП01} \\ \text{ПП02} \\ \text{ПП03} \\ \text{ПП04} \\ \text{ПП05} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Конфігурація параметрів проектування сформувала трикутну матрицю проектування, яка еквівалентна роз'єднаному проектуванню. Визначення структури запропонованої платформи не є складним і може бути досягнуто на основі аксіоматичної теорії проектування. Оскільки відомо, що розглянута задача є NP-складною, комерційні розв'язувачі здатні вирішувати лише обмежені розміром екземпляри задачі. З урахуванням обмежень комерційних розв'язувачів для великих задач пропонується використання генетичного алгоритму. Щоб продемонструвати неефективність комерційних розв'язувачів цієї задачі для великих екземплярів, ми провели експерименти на малих екземплярах і проаналізували експоненціальне зростання обчислювального часу. Ім'я кожного екземпляру подано у форматі трьох чисел: кількість виробників, кількість задач та кількість підзадач відповідно. Всі експерименти проводилися на комп'ютері з процесором Intel Core 5-11200 з тактовою частотою 2,50 ГГц і 32 ГБ оперативної пам'яті, що працює під управлінням 64-розрядної операційної системи Windows 11.

Для дослідження продуктивності роботи генетичного алгоритму було використано метод Тагуті для налаштування параметрів алгоритму. Було розглянуто три рівні для кожного параметра. Для розміру популяції це 800, 1000 і 1200, для максимальної кількості послідовних ітерацій – 30, 40, 50, для частоти кросинговеру – 0.85, 0.9, 0.95, а для частоти мутацій – 0.03, 0.05 і 0.1.

Таблиця 3.3. Результати точного методу.

Виробник - Завдання - Підзадача	Рішення	Час (с)
3-3-4	26799.56	12.163
4-4-5	31426.36	9.89
5-5-6	40218.57	16.062
6-6-7	46148.91	110.556
7-7-8	66592.78	345.704
8-8-9	76124.65	4218.05
9-9-10	-	нестача пам'яті

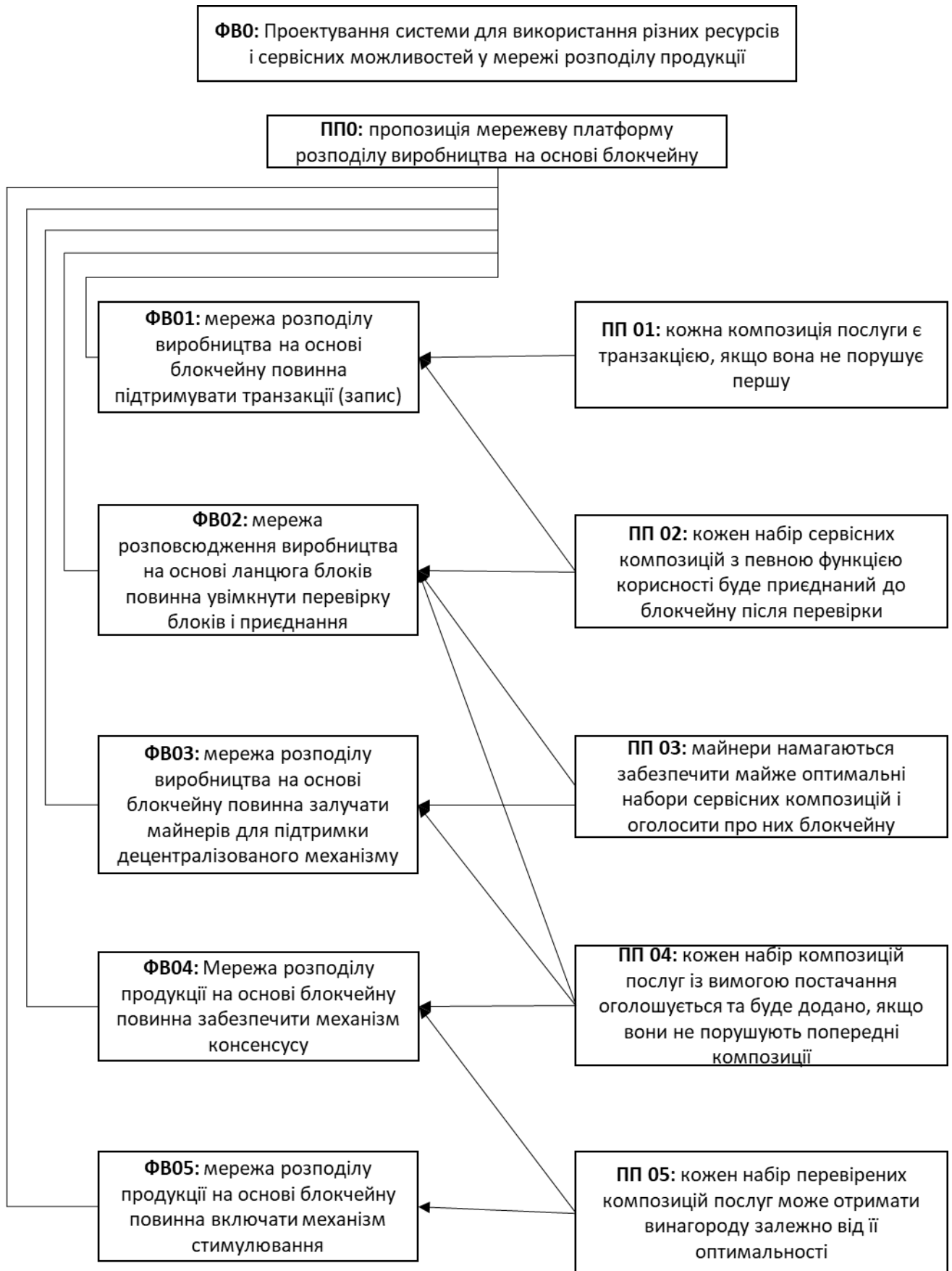


Рисунок 3.3 - Зигзагоподібна декомпозиція функціональних вимог та проектних параметрів

Виходячи зі співвідношення сигнал/шум у методі Тагучі, найкращі розв'язки дає комбінація розміру популяції 800, максимальної послідовної ітерації 50, частоти кросинговеру 0.95 та частоти мутацій 0.1.

Для дослідження ефективності запропонованої архітектури було досліджено задачу з 70 виробниками та 70 завданнями, кожна з яких має п'ять підзадач.

У цій задачі є два види транспорту для перевезення підзадач, і кожна підзадача може вимагати одну з п'яти послуг, запропонованих виробником.

Задача розв'язується як в централізованому режимі, так і в розподіленому режимі з двома-чотирма майнерами, припускаючи, що кожен майнер розв'язує частину основної задачі. Розв'язки порівнюються з точки зору часу та вартості для кожного з них.

Для порівняння часу розв'язання та значення цільової функції в централізованому та децентралізованому режимах кожна задача запускається десять разів.

Оскільки метою є досягнення прийнятної розв'язку за найкоротший можливий час, у звіті наводиться розв'язок, отриманий за найкоротший час. Важливо відзначити, що в децентралізованому режимі повідомляється розв'язок, отриманий за найкоротший час в кожному кластері за десять ітерацій, а також повідомляється сума цільових функцій і час розв'язання задачі.

У децентралізованому методі часом розв'язку в оптимістичних і песимістичних умовах вважається найдовший час розв'язку підзадачі і сумарний час розв'язку всіх майнерів відповідно.

Крім того, вартість рішення – це сумарна вартість рішення кожного наявного майнера.

Порівняння часу розв'язання кожного рішення показано на рисунку 6, і швидкість розв'язання децентралізованим методом є вищою в оптимістичних умовах.

Збільшення кількості майнерів збільшує швидкість розв'язку. Також, навіть за песимістичних умов отримання розв'язку в децентралізованому режимі відбувається швидше, ніж у централізованому.

Згідно з рисунками 3.4 та 3.5, рішення, отримані за допомогою децентралізованих рішень, є кращими, ніж централізовані, а збільшення кількості майнерів призводить до набагато кращих рішень, і загальна вартість системи буде зменшуватися.



Рисунок 3.4 – Порівняння часу розв'язання кожної задачі

У цілому, з урахуванням вищезазначених пунктів, очікується, що загальна вартість системи буде знижена за рахунок посилення децентралізації, а кращі рішення будуть отримані за коротший час.

У запропонованому методі можна спостерігати, як майнери монетизують мікрообчислювальні ресурси, чого нелегко досягти в централізованому режимі функціонування.

Отже, очікується, що ця модель створить вищий рівень соціального задоволення.

Крім того, метод вирішує проблему оптимізації швидше, ніж централізована модель. Існує пряма залежність між часом, необхідним для розв'язання задачі, та енергоспоживанням обчислювальних ресурсів.



Рисунок 3.5 – Порівняння вартості кожного рішення

Отже, споживання енергії зменшується, що призводить до меншої шкоди навколишньому середовищу та досягнення цілей екологічної стійкості.

Крім того, скорочення часу, необхідного для вирішення оптимізаційних задач, підвищує продуктивність і знижує витрати всієї системи, сприяючи досягненню економічних цілей сталого розвитку.

Системні витрати зменшуються за рахунок монетизації невикористаних мікрообчислювальних ресурсів, що усуває потребу в централізованих обчислювальних системах.

Витрати ґрунтуються на моделі оплати по мірі використання, що узгоджується з економічною метою сталого розвитку.

Отже, модель, запропонована в цьому дослідженні, сприяє покращенню сталості у трьох аспектах, при цьому покращення у двох інших аспектах розглядаються якісно.

Хоча метод має свої переваги, обговорення розподілу було розглянуто у формі розподілу, де для перевезення кожної підзадачі між двома виробниками потрібно визначити лише тип транспортного засобу, і передбачається, що кожен тип транспортного засобу завжди є в наявності.

Результати, отримані в результаті дослідження, дають уявлення про розробку платформи композиції послуг для виробничих систем, орієнтованих на ХaaS.

Вона може забезпечити малі та середні компанії виробничими та логістичними ресурсами.

Більше того, розв'язувачі, які можна уявити як зацікавлені сторони з обчислювальними можливостями, можуть дозволити оптимізоване узгодження попиту та постачальників послуг. Оскільки сталість є важливою перспективою для виробництва та виробничих послуг, екосистеми блокчейну можуть використовувати архітектуру для просування перспектив сталості виробництва та виробничих операцій.

Запропонований метод керування ланцюгом постачання на основі блокчейну виходять за рамки безпосередніх переваг скорочення витрат і збільшення швидкості обробки.

Підвищена та оптимізоване використання ресурсів, покращена продуктивність і потенціал платформ для компонування послуг мають широке значення для сталого розвитку ланцюга поставок.

Крім того, завдяки використанню смарт-контрактів можна керувати відносинами між різними учасниками ланцюга поставок без центрального органу управління і запобігти нав'язуванню системою упередженості або переваг з боку такого центрального органу.

Очікується, що в результаті цієї зміни відносини між учасниками ланцюга постачання стануть більш сталими.

Упровадження блокчейну може сприяти інтеграції нових технологій, таких як пристрої Інтернету речей (IoT) та алгоритми штучного інтелекту (ШІ), уможливаючи моніторинг у режимі реального часу, предиктивну аналітику та оптимізацію процесів ланцюга поставок. Ці досягнення сприяють розвитку більш стійкої, ефективної та готової до майбутнього екосистеми ланцюгів поставок. Зокрема, запропонована в дослідженні архітектура може бути використана як еталонна модель для практиків для розробки стартапів для наступного покоління надання логістичних послуг через хмарні рішення. Це може ініціювати ідею 5PL

(логістика 5-ї сторони), яка виграє від підходу ХааS для з'єднання споживачів і постачальників послуг за допомогою розподіленого підходу. Нарешті, використовуючи модель токенів, засновану на запропонованій архітектурі, можна покращити перспективи сталого розвитку виробництва і логістики для допомоги суспільству. Це забезпечить простежуваність і вирішення бізнес-процесів виробничих і логістичних послуг.

3.5 Висновки

В розділі подано удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн як комплексне дослідження архітектури на основі блокчейну для систем ланцюгів поставок.

Дослідження демонструє, що розподілена природа технології блокчейн має значний потенціал для підвищення продуктивності процесів прийняття рішень в ланцюгах поставок. Більше того, децентралізований підхід до прийняття рішень сприяє розвитку Індустрії 4.0 та інтелектуальних ланцюгів поставок.

У розділі представлено дослідження функції винагороди в розподіленому процесі прийняття рішень.

Результати дослідження демонструють перевагу розподіленого режиму (режим блокчейну) над централізованим режимом з точки зору швидкості та якості рішень. Зокрема, кінцеві рішення були на 15% кращими за якістю порівняно з централізованим режимом. Крім того, спостерігалось значне поліпшення швидкості рішення приблизно на 23%. Таке скорочення часу вирішення проблем ефективно знижує витрати, одночасно досягаючи цілей сталого розвитку ланцюга поставок. Поєднання впровадження принципів Індустрії 4.0 із запропонованою нами архітектурою може сприяти розвитку екосистеми сталого ланцюга поставок.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР ЗГІДНО З ТЕХНОЛОГІЄЮ БЛОКЧЕЙН

4.1 Архітектура системи керування постачання іт-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

На основі розробленого методу керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн було здійснено реалізацію. Мета системного програмного забезпечення полягала в тому, щоб надати рішення для відстеження руху відслідковуваних об'єктів і забезпечити відкритий і незмінний запис історії для кожної транзакції в ланцюжку поставок.

Одна з класифікацій типів блокчейнів базується на доступі до системи. Існують такі типи блокчейн-систем:

1. Дозволена (приватна), де вузли верифікації відомі та ідентифіковані центральним органом або базою даних, а різні фінансові установи впроваджують приватні реєстри.

2. Несанкціонована (публічна), коли будь-хто може брати участь у процесі верифікації без дозволу. Використання комп'ютерних ресурсів у цій частині часто винагороджується.

3. Гібридні, де в рішенні використовуються як дозволені, так і недозволені реєстри. В реальності важко задовольнити практичні вимоги блокчейн-додатків, використовуючи повністю публічну або повністю приватну архітектуру реєстру для обміну інформацією. Необхідно координувати обидва типи реєстрів у рішенні. Наприклад, приватний реєстр використовується для конфіденційних даних, а публічний - для даних, які потребують високого рівня довіри. Кожна зацікавлена сторона може розробити обмеження доступу до інформації за двома типами реєстрів, не покладаючись на центральне управління.

Наразі існує кілька блокчейн-платформ з відкритим вихідним кодом, зокрема Hyperledger та Ethereum.

Hyperledger можна використовувати як розподілений реєстр загального призначення на основі блокчейну з метою покращення багатьох аспектів

продуктивності та надійності. Однак, це дозволений блокчейн з обмеженими можливостями.

У дослідженні для обробки процесу було обрано бездозвільний Ethereum (публічний блокчейн).

Ethereum - це найвідоміша відкрита платформа, яка пропонує децентралізовані віртуальні машини (VM) для запуску смарт-контрактів за допомогою вбудованої мови сценаріїв загального призначення (повної за Тьюрінгом), а саме Solidity. Будь-хто може використовувати Ethereum для розробки децентралізованої системи на основі блокчейну за низькою вартістю, з оплатою за контракт і за байт. Він не належить і не контролюється жодною організацією, а належить усім учасникам, які керують вузлами Ethereum. Будь-яка нода може брати участь без додаткового дозволу та авторизації. Додатки та сервіси, створені на Ethereum, можуть автоматизувати і полегшити пряму взаємодію між вузлами в мережі блокчейн.

Системна архітектура складаються з чотирьох шарів, як показано на рис. 4.1, а розроблена платформа складається з декількох технологій і надає технічні модулі. Архітектура є гнучкою і може бути адаптована на основі реалістичних вимог.

Нижній рівень - це рівень Інтернету речей. Пристрої Інтернету речей дозволяють збирати дані в режимі реального часу. Блокчейн пропонує безпечну інфраструктуру обміну даними в розподіленій мережі і може впоратися з проблемами довіри до даних.

Другий рівень - це рівень даних. Існує три типи даних: дані про якість, логістичні дані та дані про транзакції.

Всі партнери, включаючи логістичних операторів і клієнтів, зберігають копії даних про логістичні операції.

Третій рівень - це бізнес-рівень. Коли дані збираються і передаються на рівні даних, вони обробляються на бізнес-рівні з метою здійснення логістичного моніторингу та підвищення ефективності логістичного процесу. Тому цифрова ідентичність використовується для контролю повноважень доступу до даних.

Смарт-контракти - це визначена користувачем програма, яка може здійснювати моніторинг якості в режимі реального часу, використовуючи дані в реальному часі.

Верхній рівень - це рівень користувача. Цей рівень включає різних користувачів. Кожен партнер може контролювати якість логістики та здійснювати різноманітну бізнес-



Рисунок 4.1 - Архітектура системи моніторингу логістики на основі блокчейну

Концептуально, блокчейн захищений завдяки досягненню децентралізованого консенсусу та узгодженості.

Записи історії логістики є послідовними та своєчасними. Їх можна вести без залучення довіреного посередника.

І клієнти, і логістичні оператори мають повний доступ до даних, що їх стосуються.

На рис. 4.2 описано концептуальну систему. Ця система в основному зосереджена на діяльності з доставки посилок.

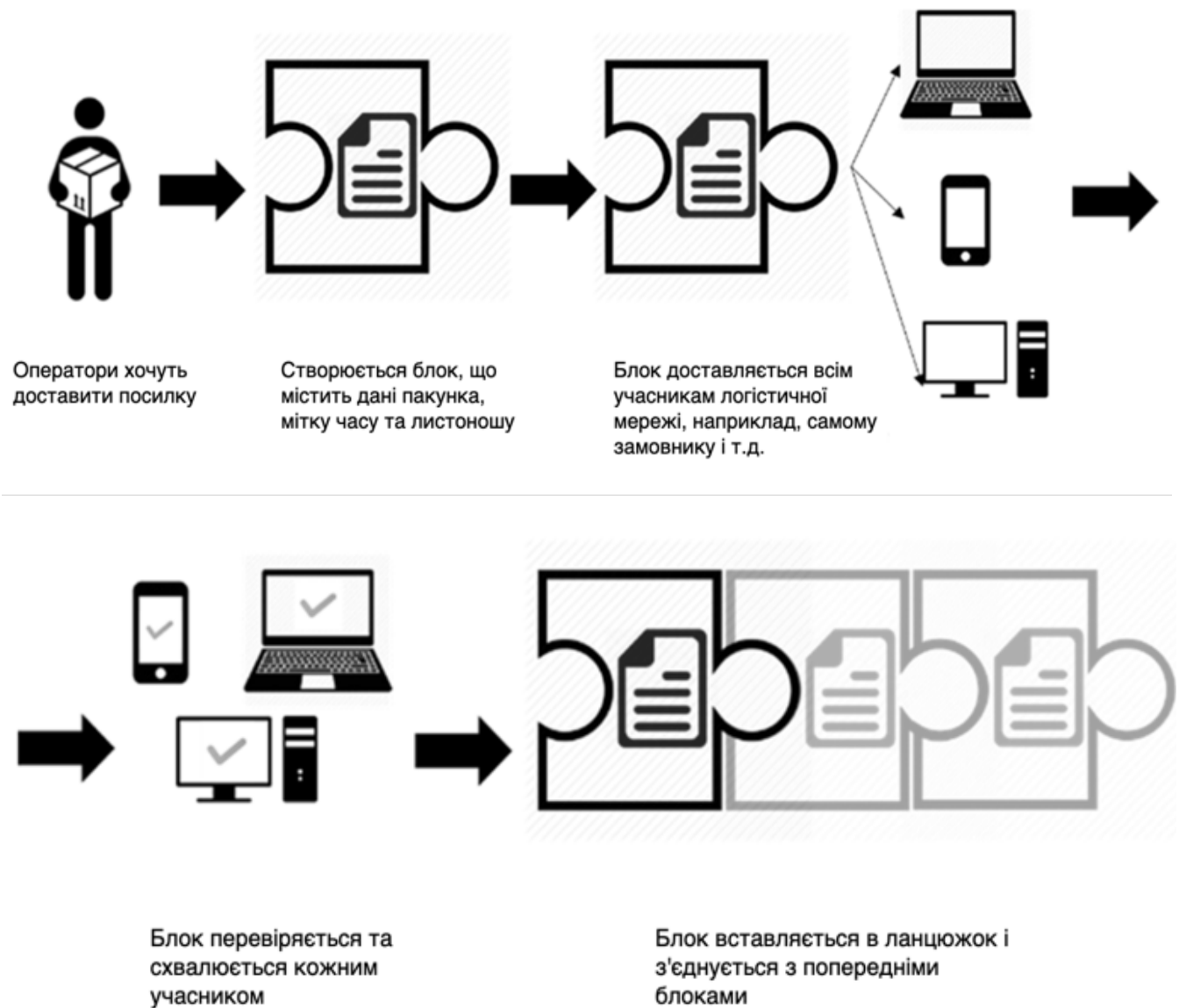


Рисунок 4.2 - Етапи обробки блокчейну в системі логістичного моніторингу

Функціональність системи полягає у введенні транзакцій для логістичних операторів. Існує п'ять основних етапів:

1. Оператори є зареєстрованими користувачами. Користувач реєструє транзакцію з інформацією про оператора, інформацією про посилку, інформацією про місцезнаходження та позначку часу. Крім того, транзакція також включає в себе інформацію про стан відправлення, наприклад, забирання, отримання, перевірку якості або остаточну доставку.

2. Коли створюється нова логістична транзакція, новий блок презентується і розповсюджується серед усіх учасників логістичної мережі.

3. Всі учасники мережі отримують блок для перевірки. Після того, як всі учасники схвалили новий блок, система вставляє його в ланцюг. Це дозволяє як клієнтам, так і операторам отримати глобальну картину логістичної історії в ефективний, перевірений і постійний спосіб.

4. Після того, як блок додано до ланцюга, дані в ньому не можуть бути змінені. Оскільки блок пов'язаний з попереднім блоком, модифікацію можна легко виявити. Оскільки вміст блоку є загальнодоступним, логістичні дані повинні бути захищені до того, як вони потраплять у блок (наприклад, зашифровані).

5. Затверджений блок додається до ланцюжка, і транзакція завершується.

4.2 Програмна реалізація системи керування постачання іт-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Архітектура системи складається з двох частин:

- Бек-енд: мережа Ethereum для перевірки даних;
- фронт-енд: інтерфейси кінцевих користувачів для введення нових транзакцій, як показано на рис. 4.3.

Ключовими компонентами системи є:

1. Клієнтське програмне забезпечення на основі JavaScript, реалізоване у вигляді веб-сторінки HTML, яка працює як користувацький інтерфейс для оператора.

2. Локальне програмне забезпечення веб-сервера, що взаємодіє з користувацьким інтерфейсом, локальною базою даних і локальним вузлом блокчейну.

3. Локальна база даних використовується для зберігання завершених транзакцій для швидкого пошуку та вилучення.

4. Блокчейн реалізований на серверному комп'ютері за допомогою Ethereum Geth. Це забезпечує доступ до мережевої обробки блокчейнів.

5. Розподілена мережа Ethereum виконує завдання верифікації для кожної операції блокчейну.

Архітектура підтримує розподілені операції транзакцій. Кожен блок в блокчейні містить дані транзакцій, а також посилання на попередній блок. Цей ланцюжок перевірок можна перевірити за допомогою посилань. Процес верифікації обробляється декількома комп'ютерами-серверами, що гарантує незмінність даних. Дані також можуть зберігатися на розподілених серверах, але з міркувань практичності для швидкого пошуку номерів посилань використовується локальне сховище.

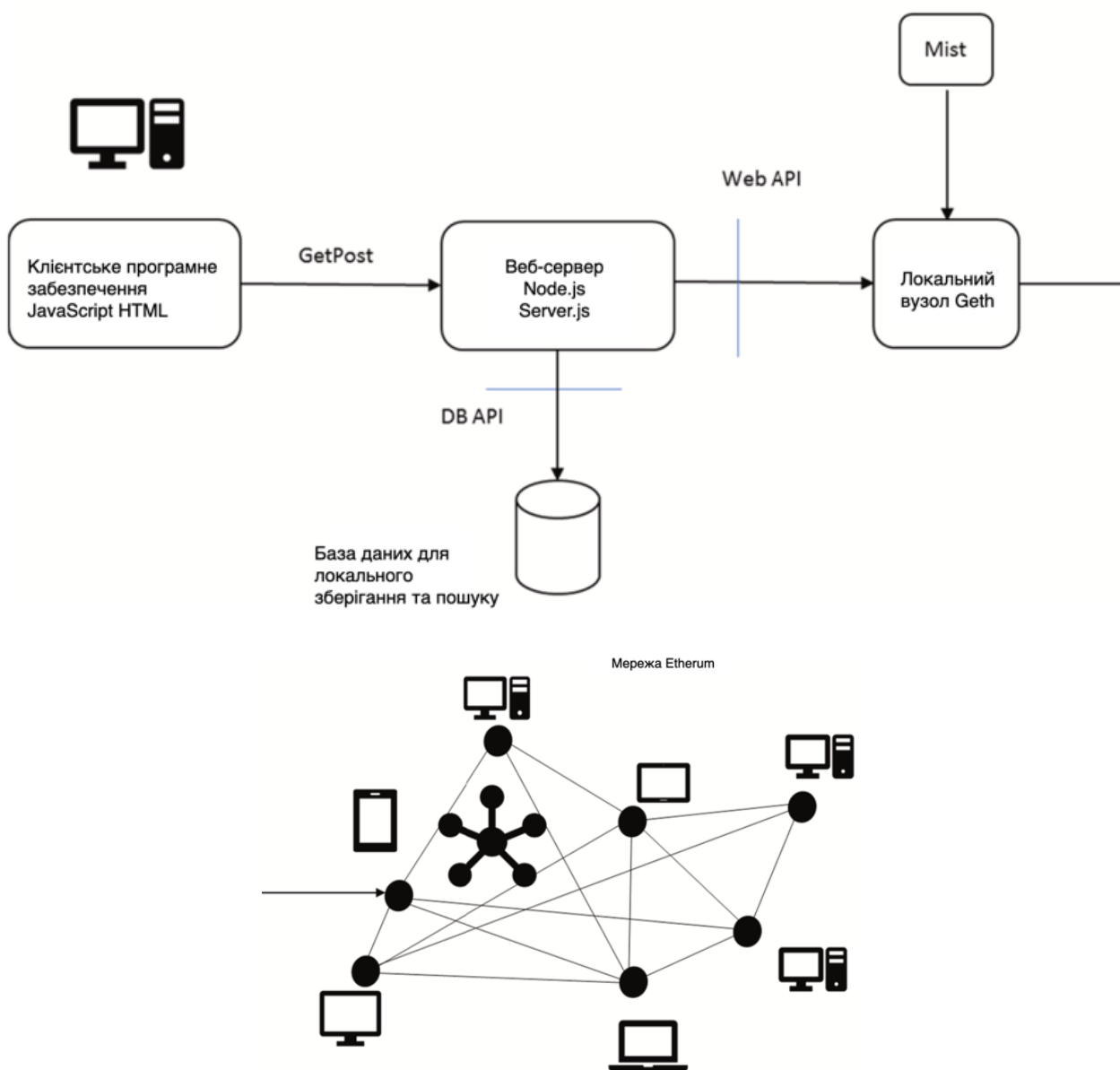


Рисунок 4.3 - Архітектура реалізації системи

Ця реалізація BMLS має три основні об'єкти даних: блок, блокчейн і транзакція, як показано на рис. 4.4.

1. Блокчейн включає всі зареєстровані блоки інформації. Блоки в блокчейні можуть бути прочитані всіма учасниками мережі.

2. Блок - це контейнерна структура даних, яка об'єднує транзакції, що мають бути включені в блокчейн. Блок складається з розміру, заголовка, що містить метадані (посилання на хеш попереднього блоку, який пов'язує даний блок з попереднім блоком в блокчейні, і мітку часу), і списку транзакцій.

3. Транзакція - це представлення логістичного запису в системі. Транзакція містить інформацію про відправлення, отримання, пакети, перевірку якості, інформацію про оператора, інформацію про місцезнаходження та позначку часу.

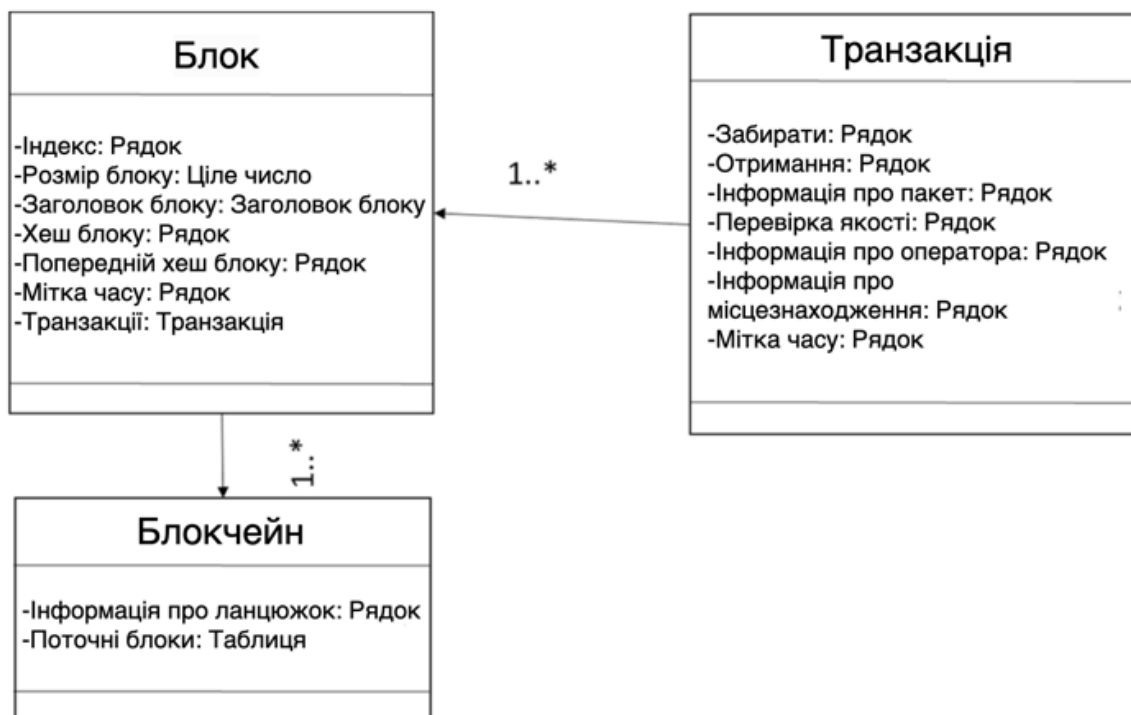


Рисунок 4.4. - Доменна модель системи логістичного моніторингу на основі блокчейну

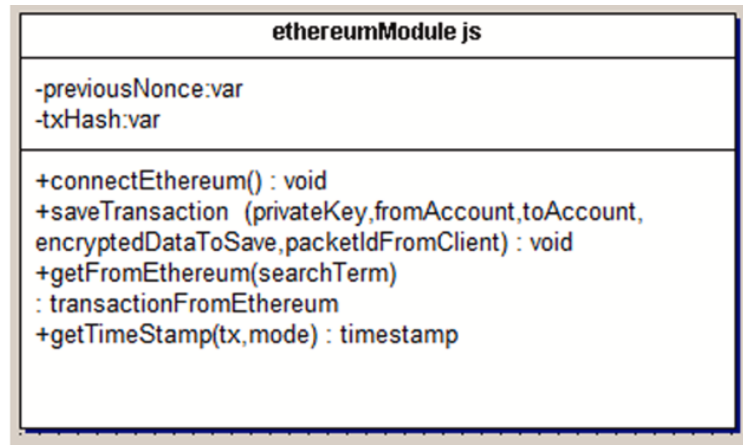


Рисунок 4.5 - Функціонал програмного забезпечення для підключення, пошуку та збереження транзакції до мережі Ethereum

4.3 Інтерфейс користувача системи керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Реалізація системи керування постачання була здійснена на основі роботи з Ethereum за допомогою web3 API. У реалізації навантаження повідомлення складається зі статичних даних, пов'язаних з логістичною транзакцією. Однак, додаткові можливості можуть бути надані за допомогою смарт-контрактів, які технічно є виконуваними фрагментами коду, запрограмованими в Ethereum. Вони можуть виконувати різні функції при виконанні умов транзакції, наприклад, здійснювати платіж або передавати документи.

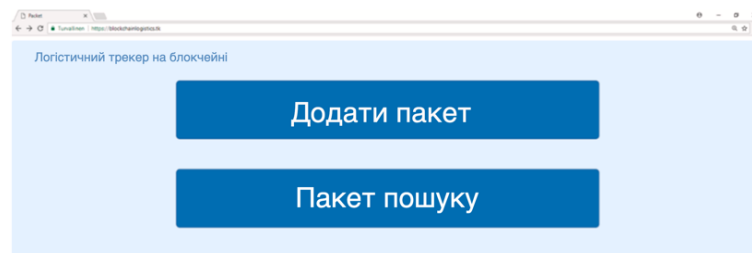
Кожен користувач може отримати доступ до конкретної логістичної операції через інтерфейс користувача в цій системі. Програмне забезпечення, яке використовують користувачі, налаштоване на конкретний цифровий профіль пакета. На практиці така система повинна розроблятися групою довірених логістичних операторів і бути доступною для зареєстрованих організацій і клієнтів для доступу до логістичної інформації.

На рисунку 4.7 показані приклади інтерфейсу користувача для додавання нової транзакції та пошуку транзакцій. Показано, що функція швидкого пошуку виконується з локального сховища транзакцій в індексованій пошуковій базі даних.

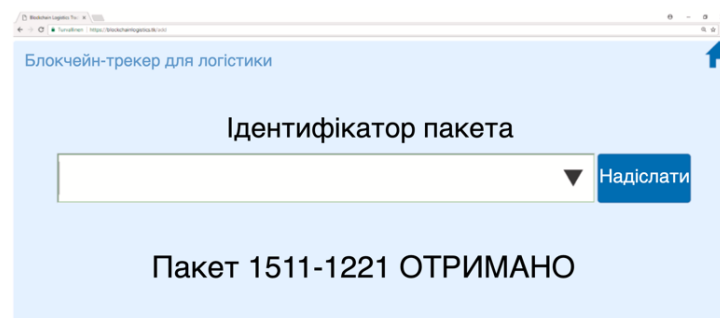
Також показано інформацію про транзакцію, яка містить дані, що зберігаються у InputData, та містить інформацію для прозорості та безпеки.

Програмна реалізація досить проста і доступні API. Швидкість обробки транзакцій у мережі Ethereum часто становить одну хвилину, а виконання завдань вимагає сплати комісійних за транзакції.

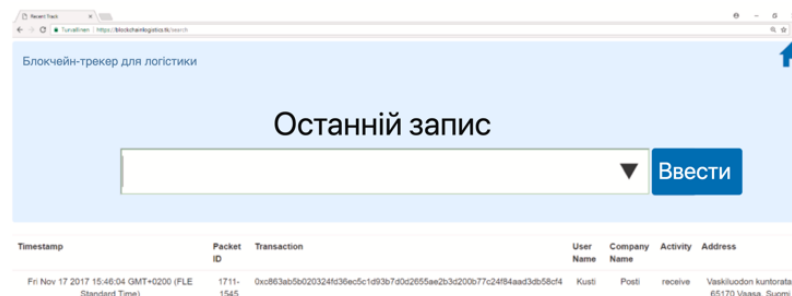
Блокчейн вирішує проблему незмінності, але на практиці для належної реакції на дії користувачів потрібні репліковані бази даних.



а)



б)



в)

Рисунок 4.6. Системи керування постачання:

а) інтерфейс користувача функції "Додати пакет" та "Пошук пакету"

б) інтерфейс користувача транзакції повернення швидкого пошуку;

в) вміст транзакції та передані дані

4.4 Оцінка роботи системи керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Метою роботи було покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн. Тому було створено платформу для задоволення попиту на операції, пов'язані з ланцюгами поставок, і водночас гарантувати безпеку та прозорість записів усіх дій.

Однак, в процесі реалізації системи було виявлено ряд труднощів:

1. Життєвий цикл розробки та впровадження дуже довгий. Щоб розпочати проект, компанії повинні мати повні знання та можливості в галузі блокчейн-технологій. Крім того, блокчейн все ще перебуває на ранній стадії з точки зору промислового застосування. Він сповнений невизначеності, наприклад, чи підходить блокчейн для конкретних галузей, чи існує проблема з авторськими правами тощо.

2. Компетенції та вартість фахівців-практиків знаходяться на високому рівні. Фахівці-практики потребують тривалого навчання та технічного розвитку. Крім того, важливо усвідомлювати, що промислові рішення на основі блокчейну повинні починатися з готовності зацікавлених сторін співпрацювати і бути залученими. Вони повинні досягти консенсусу щодо формування знань і можливостей блокчейну, зосередившись на створенні цінності для всіх зацікавлених сторін. Тому дуже важливо створити культуру співпраці.

3. Масштабованість стримує раннє впровадження блокчейну в ланцюгах поставок або в інших подібних сферах. За визначенням, кожен комп'ютер, підключений до мережі, повинен обробляти транзакції. Організаціям доводиться жертвувати ефективністю заради безпеки. Тому існує високий попит на технічну інфраструктуру, яка буде дорожчою за традиційний підхід.

4. Поточний захист даних не поширюється на дані про транзакції. Партнерам дозволено використовувати таку інформацію без будь-якого спеціального захисту даних. Тому дуже важливо створити певні обмеження для

потенційних застосувань технології блокчейн. Крім того, певні частини даних про відвантаження можуть бути передані з блокчейну на зовнішнє системне посилання.

Однак згідно з характеристиками блокчейну, зацікавлені сторони, які використовують блокчейн, користувачі отримують більше вигоди, коли кількість користувачів, що беруть участь у цій спільноті, зростатиме. Потужний мережевий ефект спрацьовує в ланцюгу поставок, коли кількість зацікавлених сторін досягає критичної маси. У міру того, як все більше учасників ланцюга поставок беруть участь, блокчейн стає все більш цінним і достовірним, перетворюючись на галузеву практику. Однак спочатку необхідно отримати прихильність зацікавлених сторін через різний рівень цифрової готовності та початкову вимогу визнати взаємну вигоду від співпраці на основі блокчейну.

4.4 Висновки

З метою здійснення апробації та перевірки ефективності запропонованого методу керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн було розроблено прототип системи логістичного моніторингу на основі блокчейну.

В рамках реалізації були зібрані логістичні дані, які були передані блокчейн-рішенню.

Функціональність системи дозволяє клієнтам і логістичним операторам разом з усіма іншими партнерами відстежувати і простежувати свої посилки в екосистемі, а також отримувати інформацію про свої власні посилки з системи.

Представлена архітектура демонструє, як за допомогою програмних компонентів можна впровадити блокчейн в операційну діяльність та ланцюги поставок.

Ethereum був обраний тому, що розробка додатків підтримується потужними інструментами. Для досягнення тієї ж функціональності можна було б використати інші блокчейн-рішення, або ж створити всю інфраструктуру блокчейну,

включаючи публічні та приватні ключі, однорангову мережу та алгоритми хешування, з нуля.

Результати показують, що метод є реалізовним.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено апаратно-програмні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

У першому розділі досліджено методи відомі методи управління ланцюгом поставок

У другому розділі подано процес моделювання смарт-контрактів в процесі керування постачання іт-інфраструктур.

Зокрема формалізовано та описано принцип функціонування смарт-контракту. Також в розділі подано модель смарт-контракту.

Описано модель управління матеріальним процесом та операціями модель контракту, а також наведено математичну модель управління потоками та інформаційними процесами.

В третьому розділі подано удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн як комплексне дослідження архітектури на основі блокчейну для систем ланцюгів поставок.

Дослідження демонструє, що розподілена природа технології блокчейн має значний потенціал для підвищення продуктивності процесів прийняття рішень в ланцюгах поставок. Більше того, децентралізований підхід до прийняття рішень сприяє розвитку Індустрії 4.0 та інтелектуальних ланцюгів поставок. У розділі представлено дослідження функції винагороди в розподіленому процесі прийняття рішень. Результати дослідження демонструють перевагу розподіленого режиму (режим блокчейну) над централізованим режимом з точки зору швидкості та якості рішень. Зокрема, кінцеві рішення були на 15% кращими за якістю порівняно з централізованим режимом. Крім того, спостерігалось значне поліпшення швидкості рішення приблизно на 23%. Таке скорочення часу вирішення проблем ефективно знижує витрати, одночасно досягаючи цілей сталого розвитку ланцюга поставок. Поєднання впровадження принципів Індустрії 4.0 із запропонованою нами архітектурою може сприяти розвитку екосистеми сталого ланцюга поставок.

В четвертому розділі подано прототип системи логістичного моніторингу на основі блокчейну. В рамках реалізації були зібрані логістичні дані, які були передані блокчейн-рішенню. Функціональність системи дозволяє клієнтам і логістичним операторам разом з усіма іншими партнерами відстежувати і простежувати свої посилки в екосистемі, а також отримувати інформацію про свої власні посилки з системи.

Представлена архітектура демонструє, як за допомогою програмних компонентів можна впровадити блокчейн в операційну діяльність та ланцюги поставок. Ethereum був обраний тому, що розробка додатків підтримується потужними інструментами. Для досягнення тієї ж функціональності можна було б використати інші блокчейн-рішення, або ж створити всю інфраструктуру блокчейну, включаючи публічні та приватні ключі, однорангову мережу та алгоритми хешування, з нуля. Результати показують, що метод є реалізовним.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна [1].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лисенко С.М., Саух О.Е. Основи удосконаленого методу керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією Блокчейн. *Тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій»* 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна.
2. Olsen, T.L.; Tomlin, B. Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* 2020, 22, 113–122.
3. Valilai, O.F.; Houshmand, M. A Manufacturing Ontology Model to Enable Data Integration Services in Cloud Manufacturing using Axiomatic Design Theory. *In Cloud-Based Design and Manufacturing (CBDMM)*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 179–206.
4. Valilai, O.F.; Houshmand, M. A collaborative and integrated platform to support distributed manufacturing system using a service-oriented approach based on cloud computing paradigm. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 2013, 29, 110–127.
5. Liao, Y.; Deschamps, F.; Loures, E.D.F.R.; Ramos, L.F.P. Past, present and future of Industry 4.0—A systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 2017, 55, 3609–3629.
6. Sgarbossa, F.; Peron, M.; Fragapane, G. Cloud Material Handling Systems: Conceptual Model and Cloud-Based Scheduling of Handling Activities. In *Scheduling in Industry 4.0 and Cloud Manufacturing*; Sokolov, B., Ivanov, D., Dolgui, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020; pp. 87–101.
7. Kamble, S.S.; Gunasekaran, A.; Gawankar, S.A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Saf. Environ. Prot.* 2018, 117, 408–425.
8. Stock, T.; Seliger, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP* 2016, 40, 536–541.
9. Lee, J.Y.; Yoon, J.S.; Kim, B.-H. A big data analytics platform for smart factories in small and medium-sized manufacturing enterprises: An empirical case study

of a die casting factory. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 2017, 18, 1353–1361.

10. Houshmand, M.; Valilai, O.F. A layered and modular platform to enable distributed CAx collaboration and support product data integration based on STEP standard. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 2013, 26, 731–750.

11. Esmaeilian, B.; Sarkis, J.; Lewis, K.; Behdad, S. Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020, 163, 105064.

12. Lobo, C.R.; Wicaksono, H.; Valilai, O.F. Implementation of Blockchain Technology to Enhance Last Mile Delivery Models with Sustainability Perspectives. *IFAC-Pap.* 2022, 55, 3304–3309.

13. Shah, S.S.; Pirayesh, A.; Valilai, O.F. Using Blockchain Technology for 3D Printing in Manufacturing of Dental Implants in Digital Dentistry. In *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: The Human-Data-Technology Nexus*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2023.

14. Ivanovki, D.; Dolguen, A.; Sokolend, B. Cloud supply chain: Integrating industry 4.0 and digital platforms in the “Supply Chain-as-a-Service”. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.* 2022, 160, 102676.

15. ElMamy, S.B.; Mrabet, H.; Gharbi, H.; Jemai, A.; Trentesaux, D. A Survey on the Usage of Blockchain Technology for Cyber-Threats in the Context of Industry 4.0. *Sustainability* 2020, 12, 9179.

16. Khanfar, A.A.A.; Iranmanesh, M.; Ghobakhloo, M.; Senali, M.G.; Fathi, M. Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review. *Sustainability* 2021, 13, 7870.

17. Nakamoto, S. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*; Bitcoin: Las Vegas, NV, USA, 2008.

18. Buterin, V. A next-generation smart contract and decentralized application platform. *White Pap.* 2014, 3, 1–2.

19. Crosby, M.; Pattanayak, P.; Verma, S.; Kalyanaraman, V. Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Appl. Innov.* 2016, 2, 71.

20. Kamble, S.S.; Gunasekaran, A.; Sharma, R. Modeling the blockchain

enabled traceability in agriculture supply chain. *Int. J. Inf. Manag.* 2020, 52, 101967.

21. Kamble, S.; Gunasekaran, A.; Arha, H. Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. *Int. J. Prod. Res.* 2019, 57, 2009–2033.

22. Korpela, K.; Hallikas, J.; Dahlberg, T. Digital supply chain transformation toward blockchain integration. In Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, Hilton Waikoloa Village, HI, USA, 4–7 January 2017.

23. Ferdows, K. Keeping up with growing complexity of managing global operations. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 2018, 38, 390–402.

24. Yoon, J.; Talluri, S.; Yildiz, H.; Sheu, C. The value of Blockchain technology implementation in international trades under demand volatility risk. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 58, 2163–2183.

25. Chang, Y.; Iakovou, E.; Shi, W. Blockchain in global supply chains and cross border trade: A critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 58, 2082–2099.

26. Queiroz, M.M.; Telles, R.; Bonilla, S.H. Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature. *Supply Chain. Manag. Int. J.* 2020, 25, 241–254.

27. Van Hoek, R. Developing a framework for considering blockchain pilots in the supply chain—lessons from early industry adopters. *Supply Chain. Manag. Int. J.* 2019, 25, 115–121.

28. Wang, Y.; Singgih, M.; Wang, J.; Rit, M. Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *Int. J. Prod. Econ.* 2019, 211, 221–236.

29. Kouhizadeh, M.; Saberi, S.; Sarkis, J. Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *Int. J. Prod. Econ.* 2021, 231, 107831.

30. Dey, S.; Saha, S.; Singh, A.K.; McDonald-Maier, K. FoodSQRBlock: Digitizing Food Production and the Supply Chain with Blockchain and QR Code in the Cloud. *Sustainability* 2021, 13, 3486.

31. Tijan, E.; Aksentijevic', S.; Ivanic', K.; Jardas, M. Blockchain Technology

Implementation in Logistics. *Sustainability* 2019, 11, 1185.

32. Adams, R.; Kewell, B.; Parry, G. Blockchain for Good? Digital Ledger Technology and Sustainable Development Goals. In *Handbook of Sustainability and Social Science Research*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 127–140.

33. Saberi, S.; Kouhizadeh, M.; Sarkis, J.; Shen, L. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *Int. J. Prod. Res.* 2019, 57, 2117–2135.

34. Nayak, G.; Dhaigude, A.S. A conceptual model of sustainable supply chain management in small and medium enterprises using blockchain technology. *Cogent Econ. Financ.* 2019, 7, 1667184.

35. Bai, C.; Sarkis, J. A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 58, 2142–2162.

36. Manupati, V.K.; Schoenherr, T.; Ramkumar, M.; Wagner, S.M.; Pabba, S.K.; Inder Raj Singh, R. A blockchain-based approach for a multi-echelon sustainable supply chain. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 58, 2222–2241.

37. Roeck, D.; Sternberg, H.; Hofmann, E. Distributed ledger technology in supply chains: A transaction cost perspective. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 58, 2124–2141.

38. Di Vaio, A.; Varriale, L. Blockchain technology in supply chain management for sustainable performance: Evidence from the airport industry. *Int. J. Inf. Manag.* 2020, 52, 102014.

39. Kouhizadeh, M.; Sarkis, J. Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains. *Sustainability* 2018, 10, 3652.

40. Kshetri, N. Blockchain and sustainable supply chain management in developing countries. *Int. J. Inf. Manag.* 2021, 60, 102376.

41. Sahoo, S.; Kumar, S.; Sivarajah, U.; Lim, W.M.; Westland, J.C.; Kumar, A. Blockchain for sustainable supply chain management: Trends and ways forward. *Electron. Commer. Res.* 2022, 1–56.

42. Park, A.; Li, H. The effect of blockchain technology on supply chain sustainability performances. *Sustainability* 2021, 13, 1726.

43. Yousefi, S.; Tosarkani, B.M. An analytical approach for evaluating the

impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance. *Int. J. Prod. Econ.* 2022, 246, 108429.

44. Dutta, P.; Chavhan, R.; Gowtham, P.; Singh, A. The individual and integrated impact of Blockchain and IoT on sustainable supply chains: A systematic review. *Supply Chain. Forum Int. J.* 2023, 24, 103–126.

45. Jraisat, L.; Jreissat, M.; Upadhyay, A.; Kumar, A. Blockchain Technology: The Role of Integrated Reverse Supply Chain Networks in Sustainability. *Supply Chain. Forum Int. J.* 2023, 24, 17–30.

46. Corazza, L.; Zhang, J.; Arachchilage, D.K.; Scagnelli, S.D. Blockchain and Sustainability Disclosure: A Scenario-Based Application for Supply Chains. *Sustainability* 2023, 15, 571.

47. Khan, S.A.; Mubarik, M.S.; Kusi-Sarpong, S.; Gupta, H.; Zaman, S.I.; Mubarik, M. Blockchain technologies as enablers of supply chain mapping for sustainable supply chains. *Bus. Strategy Environ.* 2022, 31, 3742–3756.

48. Biswas, D.; Jalali, H.; Ansaripoor, A.H.; De Giovanni, P. Traceability vs. sustainability in supply chains: The implications of blockchain. *Eur. J. Oper. Res.* 2023, 305, 128–147.

49. Radke, A.M.; Tseng, M.M. Design considerations for building distributed supply chain management systems based on cloud computing. *J. Manuf. Sci. Eng.* 2015, 137, 040906.

50. Bertsekas, D. Distributed dynamic programming. *IEEE Trans. Autom. Control.* 1982, 27, 610–616.

51. Silva, C.A.; Sousa, J.M.C.; Runkler, T.A.; Da Costa, J.S. Distributed supply chain management using ant colony optimization. *Eur. J. Oper. Res.* 2009, 199, 349–358.

52. Law, A. Smart Contracts and Their Application in Supply Chain Management. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2017.

53. Radmanesh, S.-A.; Haji, A.; Valilai, O.F. Blockchain-based cloud manufacturing platforms: A novel idea for service composition in XaaS paradigm. *PeerJ Comput. Sci.* 2021, 7, e743. [PubMed]

54. De Giovanni, P. Blockchain and smart contracts in supply chain management: A game theoretic model. *Int. J. Prod. Econ.* 2020, 228, 107855.
55. De Giovanni, P. Digital supply chain through dynamic inventory and smart contracts. *Mathematics* 2019, 7, 1235.
56. Raj, P.V.R.P.; Jauhar, S.K.; Ramkumar, M.; Pratap, S. Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts. *Comput. Ind. Eng.* 2022, 167, 108038.
57. Zeynivand, M.; Ranjbar, H.; Radmanesh, S.A.; Valilai, O.F. Alternative process routing and consolidated production-distribution planning with a destination oriented strategy in cloud manufacturing. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 2021, 34, 1162–1176.
58. Suh, N.P. *The Principles of Design*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 1990.
59. Suh, N.P. Designing-in of quality through axiomatic design. *IEEE Trans. Reliab.* 1995, 44, 256–264.
60. Cebi, S.; Kahraman, C. Indicator design for passenger car using fuzzy axiomatic design principles. *Expert Syst. Appl.* 2010, 37, 6470–6481.
61. Gebala, D.A.; Suh, N.P. An application of axiomatic design. *Res. Eng. Des.* 1992, 3, 149–162.
62. Stiassnie, E.; Shpitalni, M. Incorporating lifecycle considerations in axiomatic design. *CIRP Ann.* 2007, 56, 1–4.
63. Ahn, G., Y.-J. Park, and S. Hur. 2019. “Performance Computation Methods for Composition of Tasks with Multiple Patterns in Cloud Manufacturing.” *International Journal of Production Research* 57 (2): 517–530. doi:10.1080/00207543.2018.1451664.
64. Cavalcantea, I. M., E. M. Frazzon, F. A. Forcellinia, and D. Ivanov. 2019. “A Supervised Machine Learning Approach to Data-driven Simulation of Resilient Supplier Selection in Digital Manufacturing.” *International Journal of Information Management* 49: 86–97.
65. Choi, T. M., S. W. Wallace, and Y. Wang. 2018. “Big Data Analytics in Operations Management.” *Production and Operations Management* 27 (10): 1868–1883.

doi:10.1111/poms.12838.

66. Crosby, M., P. Pattanayak, S. Verma, and V. Kalyanaraman. 2016. "Blockchain Technology: Beyond Bitcoin." *Applied Innovation* 2: 6–10.
67. Dolgui, A., D. Ivanov, S. P. Sethi, and B. Sokolov. 2019. "Scheduling in Production, Supply Chain and Industry 4.0 Systems by Optimal Control." *International Journal of Production Research* 57 (2): 411–432.
68. Dubey, R., N. Altay, A. Gunasekaran, C. Blome, T. Papadopoulos, and S. J. Childe. 2018. "Supply Chain Agility, Adaptability and Alignment: Empirical Evidence from the Indian Auto Components Industry." *International Journal of Operations & Production Management* 38 (1): 129–148.
69. Dubey, R., A. Gunasekaran, S. J. Childe, C. Blome, and T. Papadopoulos. 2019. "Big Data and Predictive Analytics and Manufacturing Performance: Integrating Institutional Theory, Resource-Based View and Big Data Culture." *British Journal of Management* 30 (2): 341–361.
70. Dubey, R., A. Gunasekaran, S. J. Childe, A. Papadopoulos, C. Blome, and Z. Luo. 2019. "Antecedents of Resilient Supply Chains: *An Empirical Study*." *IEEE Transactions on Engineering Management* 66 (1): 8–19.
71. Dubey, R., A. Gunasekaran, S. J. Childe, S. F. Wamba, D. Roubaud, and C. Foropon. 2019. "Empirical Investigation of Data Analytics Capability and Organizational Flexibility as Complements to Supply Chain Resilience." *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2019.1582820.
72. Frazzon, E. M., M. Kück, and M. Freitag. 2018. "Data-driven Production Control for Complex and Dynamic Manufacturing Systems." *CIRP Annals* 67 (1): 515–518. doi:10.1016/j.cirp.2018.04.033.
73. Giannakis, M., D. Doran, D. Mee, T. Papadopoulos, and R. Dubey. 2017. "The Design and Delivery of Modular Legal Services: Implications for Supply Chain Strategy." *International Journal of Production Research* 56 (20): 6607–6627.
74. Hofmann, E., U. M. Strewe, and N. Bosia. 2017. *Supply Chain Finance and Blockchain Technology: The Case of Reverse Securitisation*. Berlin: Springer.
75. Hofmann, E., U. M. Strewe, and N. Bosia. 2018. "Discussion – How Does

the Full Potential of Blockchain Technology in Supply Chain Finance Look Like?” In *Supply Chain Finance and Blockchain Technology*, edited by E. Hofmann, U. M. Strewe, and N. Bosia, 77–87. Berlin: Springer. IBM. 2017. Walmart, IBM and Tsinghua University Explore the Use of Blockchain to Help Bring Safer Food to Dinner Tables Across China. Accessed November 20, 2017. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/50816.wss>.

76. Jha, A., K. Fernandes, Y. Xiong, J. Nie, N. Agarwal, and M. K. Tiwari. 2017. “Effects of Demand Forecast and Resource Sharing on Collaborative New Product Development in Supply Chain.” *International Journal of Production Economics* 193: 207–221.

77. Kalinin, V. N., and B. V. Sokolov. 1985. “A Dynamic Model and Optimal Scheduling Algorithm for Activities with Bans of Interraps.” *Automation Remote Control* 489 (1–2): 88–94.

78. Khaqqi, K. N., J. J. Sikorski, K. Hadinoto, and M. Kraft. 2018. “Incorporating Seller/Buyer Reputation-Based System in Blockchain- Enabled Emission Trading Application.” *Applied Energy* 209: 8–19. doi:10.1016/j.apenergy.2017.10.070.

79. Koh, S. C. L., A. Gunasekaran, J. Morris, R. Obayi, and S. M. Ebrahimi. 2017. “Conceptualizing a Circular Framework of Supply Chain Resource Sustainability.” *International Journal of Operations & Production Management* 37 (10): 1520–1540.

80. Kshetri, N. 2018. “Blockchain’s Roles in Meeting key Supply Chain Management Objectives.” *International Journal of Information Management* 39: 80–89.

81. Lee, E. B., and L. Markus. 1967. *Foundations of Optimal Control Theory*. New York: Wiley & Sons.

82. Liu, Y., L. Wang, X. V. Wang, X. Xu, and L. Zhang. 2018. “Scheduling in Cloud Manufacturing: State-of-the-Art and Research Challenges.” *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2018.1449978.

83. Mik, E. 2017. “Smart Contracts: Terminology, Technical Limitations and Real World Complexity.” *Law, Innovation and Technology* 9 (2): 269–300.

84. Nofer, M., P. Gomber, O. Hinz, and D. Schiereck. 2017. “Blockchain.” *Business & Information Systems Engineering* 59 (3): 183–187. Oliveira, M. P. V. D., and

R. Handfield. 2019. “Analytical Foundations for Development of Real-Time Supply Chain Capabilities.” *International Journal of Production Research* 57 (5): 1571–1589. doi:10.1080/00207543.2018.1493240.

85. Ølnes, S., J. Ubacht, and M. Janssen. 2017. *Blockchain in Government: Benefits and Implications of Distributed Ledger Technology for Information Sharing*. Amsterdam: Elsevier.

86. Panetto, H., B. Iung, D. Ivanov, G. Weichhart, and X. Wang. 2019. “Challenges for the Cyber-Physical Manufacturing Enterprises of the Future.” *Annual Reviews in Control*. doi:10.1016/j.arcontrol.2019.02.002.

87. Pontryagin, L. S., V. G. Boltyanskiy, R. V. Gamkrelidze, and E. F. Mishchenko. 1964. *The Mathematical Theory of Optimal Processes*. Oxford: Pergamon Press.

88. Potryasaev, S. A. 2017. “Integrated Modelling of Complex Processes on Basis of BPMN.” In *Proceedings – 31st European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2017*, edited by Z. Z. Paprika, P. Horák, K. Váradi, P. T. Zwierczyk, Á Vidovics-Dancs, and J. P. Rádics, 209–214. Budapest: ECMS Association.

89. Queiroz, M., and S. F. Wamba. 2018. “Blockchain Adoption Challenges in Supply Chain: An Empirical Investigation of the Main Drivers in India and the USA.” *International Journal of Information Management* 46: 70–82.

ДОДАТОК А (обов'язковий)

ТЕЗИ

Матеріали конференції «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій»

УДК 004.056

ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР ЗГІДНО З ТЕХНОЛОГІЄЮ БЛОКЧЕЙН

ЛИСЕНКО С.М., САУХ О. (lexsauh@gmail.com)
Хмельницький національний університет

Набув подальшого розвитку метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур, який на відміну від відомих для покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур використовує технологію блокчейн, а процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур здійснюється застосуванням смарт контрактів.

Індустрія 4.0 базується на використанні інформаційних технологій (ІТ) для інтелектуалізації процесів ланцюга поставок. Для реалізації Індустрії 4.0 необхідні різні технології. Трьома основними інфраструктурними технологіями, включеними в реалізацію, є кіберфізичні системи, Інтернет речей (ІоТ) і хмарні обчислення як складові ІТ-інфраструктур. У випадку відсутності технології блокчейн, рішення в Індустрії 4.0 приймають центральні органи (адміністратори), що може призводити до проблем на рівнях ланцюга поставок та мережі поставок.

Метою дослідження є покращення стійкості ланцюга поставок за допомогою архітектури на основі блокчейну, першочерговою задачею є представлення математичної моделі задачі виробництва-розподілу, що слугує прикладом задачі ланцюга поставок. У запропонованому методі споживачами послуг і виробниками є ті, хто використовує цю архітектуру, і повинно бути забезпечено виконання їх умов за допомогою цієї архітектури. Виходячи з досліджених літературних джерел, аксіоматичне проектування гарантує, що проект є чітко визначеним і базується на практичних вимогах. Застосування вказаних технічних методів роблять процеси та рішення інтелектуальними. Технологія блокчейн забезпечує прийняття рішень у запропонованій архітектурі. З великою кількістю зацікавлених сторін ланцюга поставок виникають численні проблеми та ускладнення, такі як недостатня прозорість та відстеження, складність управління ризиками, взаємний вплив діяльності учасників на інших учасників ланцюга, потреба в репутації та визнанні історії учасників для побудови довіри тощо. Однак завдяки своїй прозорій і децентралізованій структурі, технологія блокчейн може подолати багато таких проблем при вирішенні задачі покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур.

Важливим елементом застосування технології блокчейн в ланцюгу поставок є смарт-контракти. Смарт-контракти є цифровими угодами між сторонами транзакції, записаними у комп'ютерному кодї, які передаються в блокчейн і автоматично виконуються при забезпеченні заздалегідь визначених умов. Вони допомагають уникнути непродуктивних процесів прийняття рішень у ланцюгу поставок.

Вдосконалення, яке стало можливим завдяки блокчейну в системі, р – це перехід процесу прийняття рішень від централізованого режиму до розподіленого режиму.

Друге вдосконалення – це впровадження концепції смарт-контрактів, яка значно покращує взаємозв'язок між різними учасниками ланцюга поставок та управління відносинами між ними.

З урахуванням умов задачі, вводиться механізм консенсусу, відомий як доказ оптимальності, у межах якого різні майнери пропонують відповідь на кожну проблему прийняття рішень, намагаючись зробити запропоновану відповідь оптимальним рішенням проблеми. Цілком можливо, що запропоноване ними рішення не буде оптимальним, але вони намагаються зробити свою відповідь не тільки здійсненою, але й близькою до оптимальної. Коли майнер вирішує, що його пропозиція достатньо прийнятна, він представляє її іншим майнерам у децентралізованій мережі. Якщо жоден інший майнер не пропонує кращого рішення за вказаний проміжок часу, то рішення приймається і додається до блокчейну.

рішення за вказаний проміжок часу, то рішення приймається і додається до блокчейну. Успішний майнер отримує винагороду у вигляді криптовалюти, пропорційну придатності запропонованого ним рішення.

У запропонованому методі очікується, що окрім отримання хороших відповідей, буде забезпечено оптимальну швидкість вибору. У зв'язку з тим, що різні майнери постійно прагнуть вдосконалити свої алгоритми та обладнання для отримання кращих рішень і більшої винагороди в криптовалюті, заводи або довірені особи в ланцюгу поставок більше не платять за розробку алгоритмів або інфраструктуру. Вони платять лише за використання криптовалюти. Це значно знижує витрати на осідання капіталу і дає їм можливість розвиватися та рости разом з великими компаніями в ланцюгу поставок.

Смарт-контракти уможливають зробити взаємодію між різними учасниками ланцюга поставок ІТ-інфраструктур більш керованою. Смарт-контракти дозволяють відстежувати походження необхідних компонентів ІТ-інфраструктур, здійснювати автоматичну оплату після виконання зобов'язань і призначати незмінні точки у відповідному блокчейні різним постачальникам на основі їхніх записів про отримані компоненти ІТ-інфраструктур. Смарт-контракти також контролюють кількість замовлень певних компонентів ІТ-інфраструктур на кожного учасника ланцюга постачання і запобігають надмірному замовленню або замовленню меншої кількості певних компонентів, ніж потрібно, крім того, використовують прозорість, яку забезпечує застосування технології блокчейн, щоб дещо зменшити надлишковість в ланцюгу поставок.

Запропонований удосконалений метод покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн за допомогою смарт-контрактів дозволяє створювати децентралізовані ланцюги поставок. Зокрема метод удосконалений метод включає застосування смарт-контрактів саме в децентралізованому ланцюгу поставок для розподілу доходів та контрактів на оптові ціни компонентів ІТ-інфраструктур. Це дозволить визначити оптимальні параметри смарт-контрактів для всього ланцюга. Використання смарт-контрактів є вигідним як для постачальника, так і для покупця компонентів ІТ-інфраструктур і допомагає знизити можливість несплати протягом кредитного періоду для постачальника і гарантує своєчасну доставку та відстеження компонентів ІТ-інфраструктур для покупця.

Висновок. Набув подальшого розвитку метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур, який на відміну від відомих для покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур використовує технологію блокчейн, а процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур здійснюється застосуванням смарт контрактів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Paravathi, C., Dhanyashree, G., Yeshaswini, R., & Lisha, S. (2024). Unmasking the Evolution of Olsen, T.L.; Tomlin, B. Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* 2020, 22, 113–122.

2. Valilai, O.F.; Houshmand, M. A Manufacturing Ontology Model to Enable Data Integration Services in Cloud Manufacturing using Axiomatic Design Theory. In *Cloud-Based Design and Manufacturing (CBDMD)*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 179–206.

3. Valilai, O.F.; Houshmand, M. A collaborative and integrated platform to support distributed manufacturing system using a service-oriented approach based on cloud computing paradigm. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 2013, 29, 110–127.

4. Liao, Y.; Deschamps, F.; Loures, E.D.F.R.; Ramos, L.F.P. Past, present and future of Industry 4.0—A systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 2017, 55, 3609–3629.

5. Sgarbossa, F.; Peron, M.; Fragapane, G. Cloud Material Handling Systems: Conceptual Model and Cloud-Based Scheduling of Handling Activities. In *Scheduling in Industry 4.0 and Cloud Manufacturing*; Sokolov, B., Ivanov, D., Dolgui, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham,

ДОДАТОК Б (обов'язковий)

ПРЕЗЕНТАЦІЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

САУХ ОЛЕКСІЙ

Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Науковий керівник – д.т.н. проф. Лисенко
С.М.

Хмельницький - 2024

Мета і задачі дослідження

- ▶ Метою кваліфікаційної роботи магістра є покращення якості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.
- ▶ Об'єктом дослідження є процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.
- ▶ Предметом дослідження є метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.

Мета і задачі дослідження

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- ▶ дослідити методи керування постачання ІТ-інфраструктур;
- ▶ проаналізувати сучасні програмно-технічні керування постачання ІТ-інфраструктур;
- ▶ дослідити та описати моделювання постачання ІТ інфраструктур;
- ▶ удосконалити метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн;
- ▶ реалізувати засоби керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн.

Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів:

- ▶ Набув подальшого розвитку метод та засоби керування постачання ІТ-інфраструктур, який на відміну від відомих для покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур використовує технологію блокчейн, а процес забезпечення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур здійснюється застосуванням смарт контрактів.
- ▶ Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

Актуальність дослідження

Застосування ІТ-інфраструктур в цифровому світі є дуже актуальним:

- ▶ Цифрова трансформація бізнесу.
- ▶ Гнучкість та масштабованість.
- ▶ Забезпечення безпеки і конфіденційності.
- ▶ Підтримка дистанційної роботи.
- ▶ Інновації та конкурентоспроможність.



Тому ІТ-інфраструктури залишаються ключовими елементами для підтримки бізнесу в цифровому світі, і їхнє значення тільки зростає з часом.

Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Ключові аспекти методу:

1. Застосування децентралізованому підходу до вирішення проблем.
2. Врахування вимогам клієнтів в середовищі ІТ-інфраструктури.
3. У запропонованому методі споживачами послуг і виробниками є ті, хто використовує цю архітектуру, і повинно бути забезпечено виконання їх умов за допомогою цієї архітектури.
4. Технологія блокчейн забезпечує прийняття рішень у запропонованій архітектурі.
5. Застосування смарт-контрактів - цифрових угодам між сторонами транзакції, записаними у комп'ютерному кодї, які передаються в блокчейн і автоматично виконуються при забезпеченні заздалегідь визначених умов. Вони допомагають уникнути непродуктивних процесів прийняття рішень у ланцюгу поставок.

Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Кроки методу:

1. Розподілене прийняття рішень при керування постачання ІТ-інфраструктур.

1.1 Майнери використовують технологію блокчейн для прийняття рішень.

1.2 Застосування механізму консенсусу, що дозволяє будь-якому майнеру, чия відповідь відповідає умовам цього механізму, додати запропонований блок до блокчейну. З урахуванням умов задачі, застосуємо механізм консенсусу, відомий як доказ оптимальності, у межах якого різні майнери пропонують відповідь на кожну проблему прийняття рішень, намагаючись зробити запроповану відповідь оптимальним рішенням проблеми.

1.3 Якщо запропоноване ними рішення не буде оптимальним, але вони намагаються зробити свою відповідь не тільки здійсненою, але й близькою до оптимальної. Коли майнер вирішує, що його пропозиція достатньо прийнятна, він представляє її іншим майнерам у децентралізованій мережі.

Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Кроки методу:

1. Розподілене прийняття рішень при керування постачання ІТ-інфраструктур.

1.4 Якщо жоден інший майнер не пропонує кращого рішення за вказаний проміжок часу, то рішення приймається і додається до блокчейну. Успішний майнер отримує винагороду у вигляді криптовалюти, пропорційну придатності запропонованого ним рішення.

Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Схематичне зображення графіка функції винагороди



Вісь Y: нагорода майнера
Вісь X: підсилення майнера

а) схематичне зображення функції винагороди для цільової функції мінімізації;



б) схематичне зображення функції винагороди для цільової функції максимізації

Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Кроки методу:

2. Смарт-контракти при керуванні постачанням ІТ-інфраструктур

2.1 Застосування смарт-контрактів для відстеження походження необхідних компонентів ІТ-інфраструктур, здійснення автоматичної оплати після виконання зобов'язань і призначення незмінної точки у відповідному блокчейні різним постачальникам на основі їхніх записів про отримані компоненти ІТ-інфраструктур.

2.2 Здійснення контролю кількості замовлень певних компонентів ІТ-інфраструктур на кожного учасника ланцюга постачання і запобігання надмірному замовленню або замовленню меншої кількості певних компонентів, ніж потрібно, крім того, використовують прозорість, яку забезпечує застосування технології блокчейн, щоб дещо зменшити надлишковість в ланцюгу поставок.

2.3 Застосування смарт-контрактів саме в децентралізованому ланцюгу поставок для розподілу доходів та контрактів на оптові ціни компонентів ІТ-інфраструктур для визначення оптимальних параметрів смарт-контрактів для всього ланцюга.

Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Було визначено функціональні вимоги:

- ФВ01: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна підтримувати транзакцію (запис);
- ФВ02: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна забезпечувати валідацію та прикріплення блоків;
- ФВ03: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна залучати майнерів для підтримки децентралізованого механізму;
- ФВ04: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну повинна забезпечувати механізм консенсусу;
- ФВ05: Виробничо-розподільча мережа на основі блокчейну має передбачати механізм мотивації.

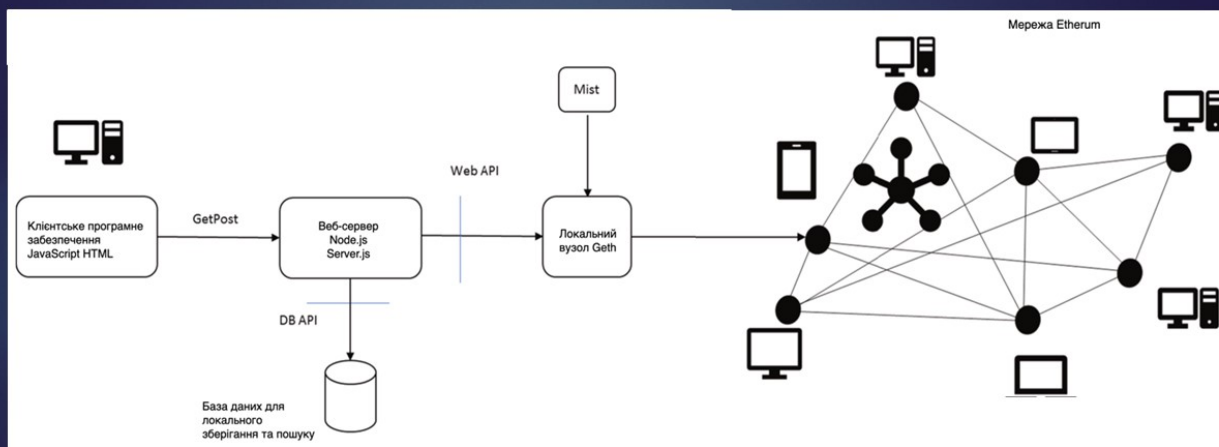
Удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Для виконання вищезазначених функціональних вимог для ІТ-інфраструктури на основі блокчейну пропонуються наступні параметри проектування (ПП):

- ПП01: кожен набір послуг є транзакцією, якщо він не порушує попередні відповідності;
- ПП02: кожен набір послуг з певною функцією корисності буде приєднаний до блокчейну після перевірки;
- ПП03: майнери намагаються забезпечити близькі до оптимальних набори послуг і оголошують їх для приєднання до блокчейну;
- ПП04: кожен набір складу послуг оголошується і буде приєднаний, якщо він не порушує колишні співвідношення попиту і пропозицій;
- ПП05: кожен набір перевіреного складу послуг може отримати винагороду в залежності від його оптимальності, після чого він буде приєднаний до блокчейну хмарних поставок.

Реалізація методу

Архітектура реалізації системи



реалізація методу

Особливості системи

Ця реалізація має три основні об'єкти даних: блок, блокчейн і транзакція, як показано на рис. 4.4.

1. Блокчейн включає всі зареєстровані блоки інформації. Блоки в блокчейні можуть бути прочитані всіма учасниками мережі.
2. Блок - це контейнерна структура даних, яка об'єднує транзакції, що мають бути включені в блокчейн. Блок складається з розміру, заголовка, що містить метадані (посилання на хеш попереднього блоку, який пов'язує даний блок з попереднім блоком в блокчейні, і мітку часу), і списку транзакцій.
3. Транзакція - це представлення логістичного запису в системі. Транзакція містить інформацію про відправлення, отримання, пакети, перевірку якості, інформацію про оператора, інформацію про місцезнаходження та позначку часу.

Реалізація методу

Система керування постачання ІТ-інфраструктур

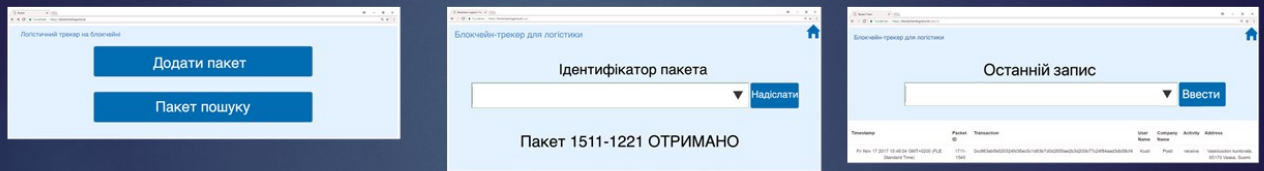


Рисунок Система керування постачання ІТ-інфраструктур:
 а) інтерфейс користувача функції "Додати пакет" та "Пошук пакету"
 б) інтерфейс користувача транзакції повернення швидкого пошуку;
 в) вміст транзакції та передані дані

публікації

- За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези у матеріалах конференції XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» 18-19 квітня 2024 р., Одеса, Україна

Висновки

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено апаратно-програмні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

У першому розділі досліджено методи Відомі методи управління ланцюгом поставок.

У другому розділі подано процес моделювання смарт-контрактів в процесі керування постачання іт-інфраструктур. Зокрема формалізовано та описано принцип функціонування смарт-контракту. Також в розділі подано модель смарт-контракту. Описано модель управління матеріальним процесом та операціями модель контракту, а також наведено математичну модель управління потоками та інформаційними процесами. В третьому розділі подано удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн як комплексне дослідження архітектури на основі блокчейну для систем ланцюгів поставок.

Висновки

В четвертому розділі подано прототип системи логістичного моніторингу на основі блокчейну. В рамках реалізації були зібрані логістичні дані, які були передані блокчейн-рішенню. Функціональність системи дозволяє клієнтам і логістичним операторам разом з усіма іншими партнерами відстежувати і простежувати свої посилки в екосистемі, а також отримувати інформацію про свої власні посилки з системи.

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1016226853

Дата перевірки:
03.05.2024 18:58:52 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
03.05.2024 19:05:24 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Саух_Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Кількість сторінок: 93 Кількість слів: 17557 Кількість символів: 138058 Розмір файлу: 1.16 MB ID файлу: 1016004947

13.5% Схожість

Найбільша схожість: 9.95% з Інтернет-джерелом (<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJWGS.2018.095647>)

13.4% Джерела з Інтернету

385

Сторінка 95

1.13% Джерела з Бібліотеки

51

Сторінка 100

0.03% Цитат

Цитати

2

Сторінка 101

Посилання

1

Сторінка 101

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

138

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 11%

ID: 125720 Назва: МКР Метод керування постачання IT-інфраструктур згідно з технологією блокчейн Додано в БД: 2024-05-03 Автора: Саух О.Е. Керівники: Лисенко С.М. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	112565	921	1940 (2%)	15 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувач: Саух Олексій Едуардович

Тема: Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень —; кількість сторінок записки 83

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота магістра відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі досліджено методи відомі методи управління ланцюгом поставок

У другому розділі подано процес моделювання смарт-контрактів в процесі керування постачання іт-інфраструктур.

В третьому розділі подано удосконалений метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн як комплексне дослідження архітектури на основі блокчейну для систем ланцюгів поставок.

В четвертому розділі подано прототип системи логістичного моніторингу на основі блокчейну.

4. Позитивні сторони роботи: В результаті виконаного наукового дослідження було розроблено апаратно-програмні засоби покращення стійкості ланцюга поставок ІТ-інфраструктур із застосуванням технології блокчейн.

5. Негативні сторони роботи: Необхідність застосування великих обчислювальних потужностей для реалізації проекту

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: —

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на невисокому рівні.

8. Інші зауваження: —

9. Оцінка кваліфікаційної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої кваліфікаційної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «задовільно» 3.00 (E)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) д.т.н..
професор, Бармак О.В., завідувач кафедри комп'ютерних наук

“ 06 травня ” 2024р.



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод керування постачання ІТ-інфраструктур згідно з технологією блокчейн

Автор: Саух Олексій Едуардович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Лисенко С.М., д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розмішені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розмішені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту, а конфігураційні файли або фрагменти нотацій.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості Unichesk, складає 13.5% і адресується до 385 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



С.М. Лисенко

О. С. Савенко

Т. О. Говорущенко

Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Саух Олексій Едуардович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22 квітня 2024 року

