

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська дипломна робота на тему:

**ВИКОРИСТАННЯ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГІЙ В ЛОКАЛЬНИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ**

Виконав: студент 4 курсу, групи 2ЕЕ-206
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика та електротехніка»,
Самсонюк Д.Ю. _____

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. ЕСС

_____ Сікорська О. В. _____

«14» 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц кафедри ЕЕЕН
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

_____ «17» 06 2024 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

_____ «17» 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«11» 03 2024 р.

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНА РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Самсонюку Денису Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Використання блокчейн технологій в локальних електричних системах»

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач каф. ЕСС Сікорська О. В.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 11.03.2024 року № 80

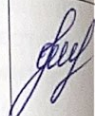
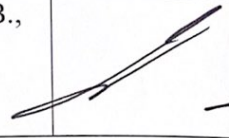
2. Термін подання студентом роботи 12 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Теоретичні відомості локальних електричних систем на основі блокчейн технологій та розрахунок ефективності роботи. Посилання на періодичні видання.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Що таке локальні електричні системи. 2. Що таке blockchain. 3. Використання blockchain технологій в локальних електричних системах. 4. Технічні аспекти впровадження blockchain технологій у локальних електричних системах. 5. Практичні експерименти та випробування 6. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Вступ. 2. Що таке локальні електричні системи. 3. Чому для БДР було обрано саме ЛЕС. 4. Що таке blockchain. 5. Чому був обраний саме blockchain для впровадження у ЛЕС. 6. Використання blockchain технологій в локальних електричних системах. 7. Приклади використання в уже існуючих системах. 8. Недоліки і проблеми впровадження в ЛЕС. 9. Аналіз отриманих значень в розрахунку. 10. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Сікорська О. В., к.т.н., ст. викладач кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.пед.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 16 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Вступ. Опрацювання інформації з літературних джерел	20.03.24	25.03.24
2	Що таке локальні електричні системи	25.03.24	01.04.24
3	Що таке blockchain.	01.04.24	05.04.24
4	Використання blockchain технологій в локальних електричних системах.	05.04.24	10.04.24
5	Технічні аспекти впровадження blockchain технологій у локальних електричних системах	10.04.24	20.04.24
6	Практичні експерименти та випробування	20.04.24	20.05.24
7	Охорона праці	20.05.24	25.05.24
8	Оформлення пояснювальної записки	25.05.24	01.06.24
9	Оформлення презентації	01.06.24	11.06.24

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Д. Ю. Самсонов

О. В. Сікорська

АНОТАЦІЯ

УДК 621

Самсонюк Денис Юрійович «Використання блокчейн технологій в локальних електричних системах». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2024. – 74 с. Бібліогр.: 16. Рис. : 19. Табл. : 9.

У бакалаврській дипломній роботі було досліджено впровадження блокчейн технологій у локальні електричні системи аби підвищити ефективність роботи системи. Основною метою дослідження є визначення можливостей та переваг використання блокчейн технологій для оптимізації управління локальних електричних систем, підвищення прозорості транзакцій та забезпечення безпеки даних. У рамках дослідження проведено аналіз поточного стану локальних електричних систем, включаючи існуючі проблеми та виклики, такі як енергоспоживання, облік електроенергії та взаємодія між учасниками ринку. Особлива увага приділена вивченню потенціалу блокчейн технологій для вирішення цих питань. У роботі розглянуто основні принципи функціонування блокчейн технологій, включаючи їхні ключові переваги: децентралізацію, незмінність даних та прозорість операцій. Досліджено застосування блокчейн у сфері енергетики, зокрема можливість створення децентралізованих енергетичних ринків та використання смарт-контрактів для автоматизації процесів.

Ключові слова: блокчейн, локальні електричні системи, децентралізація, смарт-контракти, безпека, прозорість.

ABSTRACT

Samsoniuk Denys Yuriyovych "Using blockchain technologies in local electrical systems." Bachelor qualification work. – Vinnytsia: VNTU. - 2024. - 74 p. Bibliography: 16. Fig. : 19. Table. : 9.

The bachelor's thesis investigated the implementation of blockchain technologies in local electrical systems in order to increase the efficiency of the work system. The main purpose is to determine the possibilities and advantages of using blockchain technologies to optimize the management of local electric systems, increase the transparency of transactions, and ensure data security. As part of the study, an analysis of the current state of local electricity systems was carried out, including existing problems and challenges, such as energy consumption, electricity accounting and interaction between market participants. Special attention is paid to studying the potential of blockchain technologies to solve these issues. The paper examines the main principles of blockchain technologies, including their key advantages: decentralization, immutability of data, and transparency of operations. The application of blockchain in the field of energy has been investigated, in particular the possibility of creating decentralized energy markets and the use of smart contracts to automate processes.

Keywords: blockchain, local electrical systems, decentralization, smart contracts, security, transparency.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП.....	6
1 ЩО ТАКЕ ЛОКАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ	7
1.1 Основні принципи роботи локальних електричних систем.....	8
1.2 Види локальних електричних систем.....	10
1.3 Перспективи застосування локальних електричних систем в Україні під час війни та у майбутньому	12
2 ЩО ТАКЕ BLOCKCHAIN.....	14
2.1 Основні принципи роботи блокчейн технологій.....	14
2.2 Типи блокчейну та його переваги.....	21
2.3 Мережа P2P і її роль для технології blockchain.....	23
3 ВИКОРИСТАННЯ BLOCKCHAIN ТЕХНОЛОГІЙ В ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	25
3.1 Переваги застосування блокчейн технологій у локальних електричних системах.....	28
3.2 Приклади впровадження технологій блокчейн у сучасні Мікромережі.....	30
4 ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ BLOCKCHAIN У ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	40
4.1 Принципи розробки архітектури системи на основі блокчейн технологій.....	42
4.2 Аналіз інструментів та платформ для реалізації блокчейн у локальних електричних системах.....	44
5 ПРАКТИЧНІ ЕКСПЕРЕМЕНТИ ТА ВИПРОБУВАННЯ.....	48
5.1 Розрахунок та аналіз ефективності впровадження блокчейн у локальні електричні системи.....	49
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	56
6.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта	56
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	62

6.3 Пожежна безпека.....	65
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	73
ДОДАТОК А	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ЛЕС – локальна електрична система;

ESS – система накопичення енергії;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

RES – місцеві відновлювані джерела енергії;

PCC – точка загального підключення розподільчої мережі;

ACMG – Локальна система змінного струму;

DCMG – Локальна система постійного струму;

HMG – Гібридні електричні системи;

P2P – Peer-to-Peer;

DeFi – програм децентралізованого фінансування;

PoC (Proof of Concept) – доказ існування певного методу;

PoW (Proof of Work) – Доказ виконано ї роботи;

MD – Message Digest;

SHA – Безпечний алгоритм хешування;

HTTPS – Безпека протоколу передачі гіпертексту;

SSL (Secure Sockets Layer) – Рівень захищених сокетів

ВСТУП

Уже давно електрична енергія стала невід’ємною складовою нашого повсякденного життя а також господарського розвитку. Проте, уже існуючі системи електропостачання мають ряд проблем які потрібно вирішувати. Енергетичний сектор переживає революційні зміни, які спрямовані на забезпечення стабільності постачання енергії, забезпечення ефективного використання ресурсів, але із настанням епохи інтернету в енергетичному секторі потрібно також забезпечувати прозорість, надійність і захист критичної інфраструктури та персональних даних споживачів від зловмисників та ворожих атак особливо у нинішній час. В цьому випадку технологія блокчейн стає потужним інструментом для оптимізації та захисту локальних електричних систем, адже блокчейн являється децентралізованою технологією, він забезпечує безпеку, автентичність та непіддільність даних, виходячи із цього, цю технологію можна використати для побудови довіреного електронного середовища для обміну енергією між різними джерелами та споживачами. Тому тут буде досліджено потенціал впровадження, переваги та виклики технологій блокчейн у локальних електричних системах.

Метою даної роботи є аналіз потенціалу технологій блокчейн у вдосконаленні локальних електричних систем задля підвищення ефективності та надійності енергопостачання. Це дослідження спрямоване на виявлення можливостей та розробку стратегій впровадження, які сприятимуть сталому розвитку електроенергетики у майбутньому.

1 ЩО ТАКЕ ЛОКАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ

Локальна електрична система – це мініатюрна система електромережі (автономна електрична мережа), вона дозволяє генерувати власну електроенергію на об'єкті та використовувати її, коли вона найбільше потрібна. Також вона налаштована для управління розподіленими енергетичними ресурсами та може включати відновлювані джерела енергії (сонячну, вітрову та гідроенергію) з іншими невідновлюваними джерелами (такими як дизельні генератори, газові турбіни, тощо). Тому ЛЕС підключатиме, відстежуватиме та контролюватиме розподілені енергетичні ресурси, підвищуючи при цьому продуктивність, стійкий слід і стійкість. Ці мікромережі зазвичай керують енергетичними навантаженнями кількох систем генерації, а також використовують певний тип системи зберігання енергії. Вони працюють і керують усім цим за допомогою різних типів програмного забезпечення та систем керування. ЛЕС може працювати будучи підключеними до енергомережі або працювати в відключеному острівному режимі під час надзвичайних ситуацій або на основі конкретних потреб.[2][3]

Локальна електрична система складається з наступних компонентів:

- *Джерела енергії*, які можуть бути генераторами, сонячними панелями, вітряними турбінами або підключені до центральних електростанцій через електричні лінії.
- *Електричні мережі*, які передають електроенергію від джерела до споживачів. Це можуть бути кабелі, провідники, трансформатори, які розподіляють енергію по різних частинах мережі.
- *Розподільчі вузли*, де електроенергія розподіляється між різними споживачами. Наприклад, це може бути підстанція, яка забезпечує електропостачання для декількох будівель або об'єктів.
- *Лічильники*, які встановлюються для вимірювання споживаної електроенергії кожним споживачем.

- *Заземлення та захист*, які є необхідними для захисту від коротких замикань, перенапруг та інших небезпечних ситуацій.
- *Керуючі та моніторингові системи*, які використовуються для контролю роботи системи, моніторингу та виявлення несправностей параметрів електричної мережі.
- *Резервне живлення*, яке може включати генератори або акумулятори для забезпечення неперервного живлення в разі відключення основного джерела енергії. Також варто зазначити, що вище наведені елементи локальних систем можуть відрізнятися в залежності від потужності системи та її використання. На рисунку 1.1 зображений приклад класичної електричної системи.

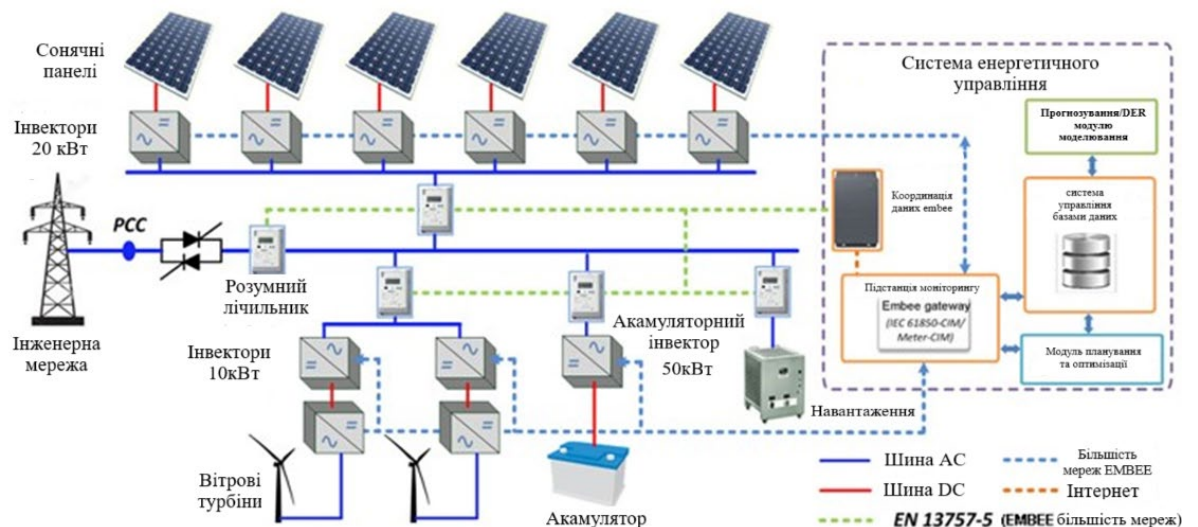


Рисунок 1.1 – Приклад схеми локальної електричної системи.

1.1 Основні принципи роботи локальних електричних систем

Принцип роботи ЛЕС. Основним джерелом її являється комунальна мережа. Також на ЛЕС стоять сонячні панелі а також вітрові турбіни. До них підключені інвертори які перетворюють постійний струм на змінний, а також установлені лічильники щоб моніторити кількість виробленої енергії. В свою чергу енергія від сонячних панелей та від вітрових турбін живлять акумуляторну батарею для екстреного використання в разі втрати електроенергії. Їх зазвичай підключаються до мережі, щоб знизити

експлуатаційні витрати. При зникненні електроенергії комплекс перемикається на живлення від акумуляторної батареї, від вітрової та сонячної установки. Генератори запускаються і беруть на себе навантаження від акумуляторів. Споживачі не відчують коливань потужності через конструкцію розподільчої мережі. Коли енергопостачання відновлюється, навантаження повертається до електромережі, а резервні генератори вимикаються. Вітро-сонячна електростанція повертається до нормального режиму роботи.

Також можна відзначити що багато факторів впливають на проектування та будівництво. Удосконалення технологій виробництва та розподілу електроенергії дозволяють створювати системи, які зменшують споживання електроенергії, використовують екологічні методи виробництва та відповідають критичним вимогам до електропостачання.

Вище було розказано основний принцип роботи, тепер можна розповісти про режими роботи в ЛЕС. Їх існує два, тобто режим роботи в мережі та острівний режим роботи.

- *Режим роботи в мережі:* Цей режим передбачає з'єднання ЛЕС з основною мережею через РСС. ЛЕС обмінюється енергією з основною мережею, враховуючи різницю між навантаженням і виробленою потужністю ВДЕ. Надлишкову потужність, вироблену ВДЕ (тобто при низькому попиті на навантаження, але високій генерації), можна використовувати для заряджання ESS. При повному зарядженні ESS, надлишкову потужність з місцевої мережі можна експортувати до основної мережі. Однак, коли генерація менше за потребу в навантаженні, його можна забезпечити за рахунок системи накопичення енергії в залежності від доступної енергії. Коли рівень енергії в ESS досягає нижньої межі, потрібну потужність можна взяти з основної мережі. Таким чином, ВДЕ, ESS і основна мережа мають співпрацювати для забезпечення надійності і стабільності мікромережі. В результаті потік енергії через РСС може бути двостороннім.

- *Режим роботи в острівному режимі:* У цьому режимі місцева частота та напруга регулюються за допомогою вітрових установок, сонячних панелей та ESS. ESS відіграє важливу роль, забезпечуючи енергетичний баланс, зменшуючи коливання потужності та підвищуючи надійність і ефективність системи. Він поглинає надлишкову енергію, вироблену ВДЕ, коли генерація перевищує попит. ESS можна використовувати для постачання електроенергії до мікромережі, коли попит перевищує місцеву генерацію. Це дозволяє уникнути зменшення потужності ВДЕ або відключення навантаження. Крім того, ESS можна використовувати для оптимізації регулювання напруги та частоти в острівній мікромережі.[3]

1.2 Види локальних електричних систем

Також ЛЕС можна розділити на мікромережу змінного та постійного струмів, а також гібридні.

- *Локальна система змінного струму (ACMG):* В ACMG, місцеві відновлювані джерела енергії (RES), системи зберігання енергії (ESS) та споживачі підключаються до загальної шини змінного струму. Усі пристрої постійного струму (наприклад, сонячні панелі) та системи зберігання енергії (наприклад, батареї) повинні бути підключені до загальної шини через спеціалізовані інвертори постійного струму для перетворення постійного струму в змінний. Управління системою ускладнюється через наявність критичних та некритичних споживачів, які потребують гармонійних струмів. У ACMG, зниження гармонік досягається за допомогою пасивних або активних фільтрів. Крім того, зниження гармонік може бути досягнуто за допомогою впровадження спеціалізованих функцій у первинні керуючі ланки силових електронних пристроїв в мікромережі. Хоча мікромережі змінного струму можуть легко інтегруватися в основну мережу, повторна синхронізація ACMG з основною мережею є складною. Синхронізація

вимагає узгодження амплітуди, частоти та фази напруги на точці спільного з'єднання з напругою основної мережі. Також існують три основні схеми розподілу змінного струму для мікромереж: однофазна, трифазна з нейтраллю та трифазна без нейтралі.

- *Локальна система постійного струму (DCMG):* У DCMG, місцеві відновлювані джерела енергії (ВДЕ), системи зберігання енергії (ESS) та споживачі підключаються до загальної шини постійного струму. Будь-які джерела змінного струму та споживачі повинні бути підключені до загальної шини через спеціалізовані пасивні/активні випрямлячі змінного струму в постійний. Мікромережі постійного струму можуть бути монополярними, біполярними або гомополярними системами розподілу. Монополярна мережа постійного струму складається з двопровідної системи розподілу, між якими визначається напруга шини постійного струму. Біполярні та гомополярні мережі постійного струму є трипровідними системами розподілу. Крім зворотного провідника заземлення, біполярна мережа має два провідники низької напруги з різною полярністю, тоді як гомополярна мережа має два провідники низької напруги з однаковою полярністю. DCMG мають ряд переваг перед аналогами змінного струму, включаючи більшу надійність, вищу ефективність (менше силових електронних пристроїв) та покращену стабільність. Мікромережі постійного струму недавно знайшли застосування в спеціальних областях, таких як морські мікромережі, електромобілі та телекомунікаційні системи. Однак основним обмеженням мікромереж постійного струму є складність та висока вартість системи захисту порівняно з мікромережами змінного струму.

- *Гібридні електричні системи (HMG)* - це комплекси, що включають джерела та споживачі електроенергії, які підключені до шини змінного струму, а також джерела та споживачі постійного струму, що підключені до шини постійного струму. HMG об'єднують переваги як систем змінного струму (ACMG), так і систем постійного струму (DCMG), зменшуючи

кількість перетворень енергії, оскільки вони можуть підтримувати як змінний, так і постійний струм одночасно. Підмережі змінного та постійного струму з'єднані між собою за допомогою двонаправленого з'єднувального перетворювача, який керує та координує потік електроенергії між підмережами та всередині них. НМГ використовує трансформатор для зміни напруги на стороні змінного струму та перетворювач DC-DC для зміни напруги на стороні постійного струму. В залежності від вимог до навантаження та стану основної мережі, НМГ можуть працювати в режимі підключення до мережі або в автономному режимі.[3]

1.3 Перспективи застосування локальних електричних систем в Україні під час війни та у майбутньому

В умовах війни в Україні використання локальних систем електропостачання особливо актуальне з кількох важливих причин:

По-перше, локальна система електропостачання підвищує стабільність енергосистеми. Центральні енергетичні об'єкти, такі як великі електростанції і високовольтні лінії, можуть стати об'єктом військових атак, які призводять до масових відключень електроенергії. І навпаки, локальні системи не піддаються таким атакам, оскільки вони розподілені і можуть функціонувати автономно.

По-друге, локальна система забезпечує автономію та децентралізацію. Це означає, що окремі населені пункти і регіони можуть забезпечувати себе засобами до існування незалежно від стану центральної енергетичної системи. У разі пошкодження центральної мережі місцева система може швидко відновити роботу і забезпечити безперебійне електропостачання.

По-третє, місцеві системи електропостачання сприяють енергетичній безпеці за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції. Це знижує залежність від централізованих поставок палива, які можуть бути порушені під час конфліктів.

Швидкість введення нових енергетичних потужностей дуже важлива в умовах війни. Локальні електричні системи можуть бути впроваджені

набагато швидше, ніж великі центральні електростанції, і дозволяють швидко забезпечити електроенергією необхідні їм об'єкти.

Нарешті, стабільне енергопостачання може сприяти підтримці соціальної стабільності, забезпечуючи роботу лікарень, систем водопостачання та інших життєвоважливих служб. Це особливо важливо для підтримки морального стану населення та задоволення основних потреб у складних ситуаціях.

У майбутньому, перспективи та можливості використання локальних електричних систем (ЛЕС) будуть залежати від ряду важливих факторів, таких як технологічний розвиток, економічні умови, політичні стратегії та соціальні тренди. Прогрес ЛЕС може сприяти розширенню енергетичної галузі, особливо якщо їх масово впроваджувати в енергетичні системи країн. Це може призвести до збільшення використання відновлюваних джерел енергії, оскільки ЛЕС ідеально підходять для інтеграції сонячної та вітрової енергії. Розвиток технологій сонячних панелей, вітроенергетики та систем зберігання енергії робить ЛЕС все більш доступними та ефективними.

Удосконалення ЛЕС також сприятиме децентралізації енергетичних систем, надаючи споживачам більшу автономію від централізованих джерел енергії та мереж. Це може збільшити енергетичну безпеку та зменшити вразливість системи до перебоїв у постачанні.

Отже, у майбутньому, ЛЕС можуть стати важливим елементом розвитку “розумних” мереж, які використовують передові технології зв'язку та інформаційні системи для ефективного управління та оптимізації споживання енергії. Вони також можуть сприяти підвищенню енергоефективності шляхом локалізації виробництва та споживання енергії, а також застосуванням енергозберігаючих технологій та енергоефективних методів.[3]

2 ЩО TAKE BLOCKCHAIN

Про блокчейн можна сказати, що це такий спосіб записування інформації який унеможливорює або ускладнює процес зміни системи, її злам або певні дії маніпуляції над ним. Його також називають «розподіленою книгою», адже він дублює та розподіляє транзакції по мережі комп'ютерів, що беруть участь у блокчейні. Сама технологія блокчейну є структурою, збереження публічних записів а також транзакцій, це зветься блоком. Ці блоки утворюють бази даних - «ланцюжок», у мережі, з'єднаний через однорангові вузли. Це сховище називають «цифровою книгою». Кожна транзакція яка була в цій книзі авторизується цифровим підписом власника, це робиться для того щоб засвідчити транзакцію та захистити її від підробки. Цей цифровий реєстр дещо схожий на електронну таблицю Google, адже її також використовують численні комп'ютери в мережі, у них зберігаються записи про транзакції на основі фактичних покупок. Тут можна виділити те що, данні знаходяться у відкритому доступі, їх може бачити будь-хто, але їх не можна пошкодити.[4]

2.1 Основні принципи роботи блокчейн технологій

Блокчейн схожий на електроні таблиці чи бази даних, але він відрізняється від традиційної бази даних тим що, у блокчейні дані структуровані та являються доступними. Блокчейн складається з програм, які називаються сценаріями, вони виконують завдання у базі даних, тобто введення інформації та отримання доступу до неї, збереження та зберігання її десь .Він розподіляється, тобто, відбувається процес коли кілька копій зберігаються на багатьох комп'ютерах, і всі вони повинні збігатися, щоб він був дійсним. Блокчейн збирає інформацію про транзакції та вводить її в блок, це буде виглядати як комірка в електронній таблиці, що містить інформацію. Після заповнення інформація відбувається алгоритм шифрування, тобто, створюється шістнадцяткове число, яке називається хеш. Згодом хеш вводиться в наступний заголовок блоку і знову

шифрується з іншою інформацією в блоці. Це створює серію зв'язаних блоків.[4]

Блокчейн включає в себе три ключові елементи: блоки, ланцюг блоків та мережу. Блок представляє собою структуру даних, яка збирає транзакції та розсилає їх по мережі. Дані про транзакції в системі зберігаються в блоках мережі блокчейн. Кожен блок має дві частини: заголовок та тіло. Тіло включає список всіх транзакцій, які додаються до поточного блоку для розповсюдження в мережі блокчейну. Заголовок містить інформацію, яка забезпечує надійність мережі. Зазвичай заголовок блокчейну містить такі поля:

- Номер версії (version) - це поточна версія блоку.
- Хеш попереднього блоку (p_block).
- Хеш всіх транзакцій поточного блоку (tr_hash).
- Мітка часу, яка вказує час створення блоку (time).
- Nonce - це числовий параметр, який розраховується під час майнінгу, щоб забезпечити, що хеш блоку є меншим за певне значення.
- Bits - це максимальне значення, яке не повинно перевищувати хеш блоку.

Ці шість полів формують заголовок блоку. Решта блоку складається з транзакцій, які майнер обрав для включення в блок, який він створює. Для обчислення хешу всіх транзакцій в блоку використовується алгоритм Меркла, який розраховує 256-бітний хеш. Цей хеш використовується для подальшого обчислення хешу всього блоку. У різних варіантах мережі блокчейн може бути різний розмір блоку та кількість можливих транзакцій.
[5]

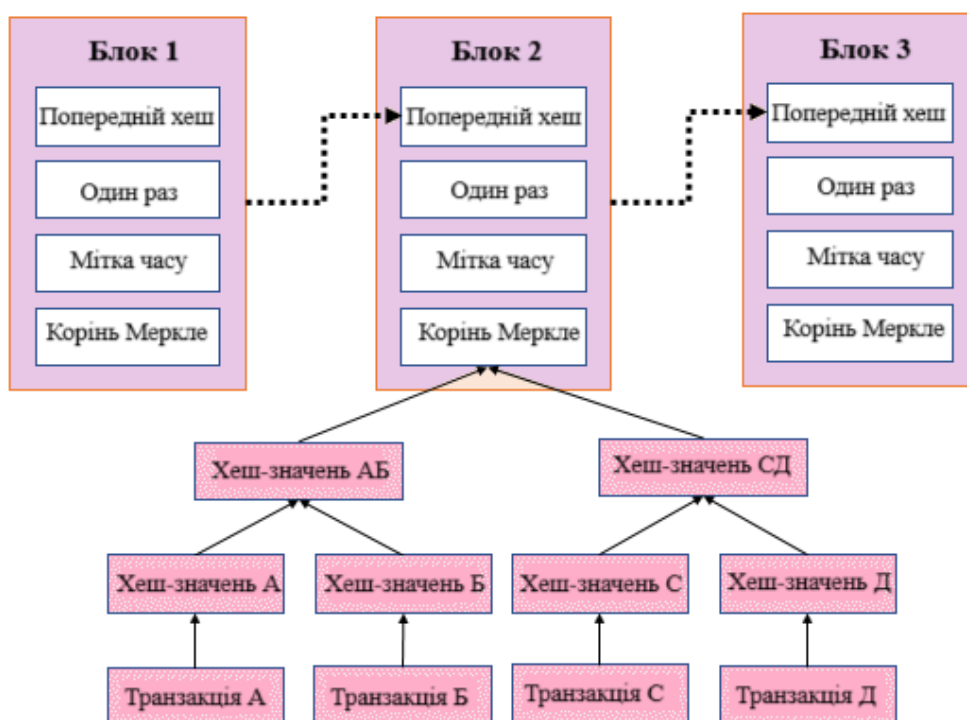


Рисунок 2.1. – Зв'язний список блоків

Хеш-функція дозволяє швидко виявляти відмінності між різними даними, що сприяє ефективній перевірці транзакцій. Кожен блок містить заголовок, хеш попереднього блоку, корінь дерева Меркла та власні транзакції. В одному блоку може бути одна або кілька транзакцій, зазвичай перша - це транзакція на основі монети, яка отримує нагороду за дії на рис 2.8 зображено приклад хешування блоків. Блоки хешуються парами, а якщо пара відсутня - самі з собою, до тих пір, поки не отримається єдиний корінь дерева Меркла. Це підтверджує достовірність блока та правильне розташування всіх транзакцій.

Ланцюг блоків - це база даних транзакцій, яку обробляє кожен учасник мережі і яка містить всі транзакції системи. Кожен блок має лише один шлях до генезис-блоку. Перехід від кожного блоку в ланцюгу відбувається через розгалуження від кожного наступного блоку. Кожен блок може містити інформацію про всі транзакції або лише про свої власні транзакції. Всі гілки мережі є рівноправними, поки одна з них не стане коротшою за іншу, і система автоматично вибирає довший ланцюг, незалежно від довжини гілки. Транзакції, які потрапляють в коротшу гілку, втрачають

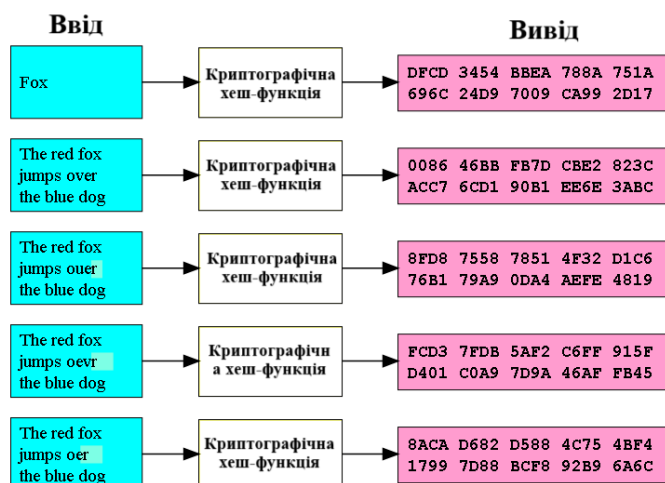


Рисунок 2.4 – Криптографічна хеш-функція SHA -1

Цей процес виконується за допомогою специфічного алгоритму. Вхідні дані, відомі як вхідний масив, “ключ” або “повідомлення”, перетворюються в “хеш” або “хеш-код”, який є результатом перетворення. Криптографічна хеш-функція приймає будь-які дані, незалежно від їх довжини, і перетворює їх у рядок букв і цифр. Функції, що використовуються в блокчейн технології, працюють в односторонньому порядку. Незважаючи на те, що однакові дані завжди дають однаковий хеш, неможливо відновити вихідні дані з отриманого хешу. [6]

Існує багато типів криптографічних хеш-функцій, кожна з яких працює по-своєму. Розглянемо декілька найбільш популярних.

MD5 - це алгоритм, що створює унікальний криптографічний хеш довжиною 128 бітів для будь-якого вхідного набору даних. Це схоже на унікальний ідентифікатор особи, наприклад, унікальний цифровий підпис. **MD5** часто використовується в програмах для цифрових підписів, де потрібно безпечно стиснути великі обсяги даних перед шифруванням за допомогою ключа в криптосистемі.

SHA-256 - це алгоритм криптографічної хеш-функції, який генерує хеш довжиною 256 бітів. Він ускладнює процес взлому і дешифрування, оскільки можливих варіантів надзвичайно багато. **SHA-256** обробляє дані у

вигляді блоків по 512 бітів і, після криптографічної обробки, генерує хеш-код довжиною 256 бітів.

Хеш-таблиця:

Хеш-таблиця - це структура даних для зберігання пар ключ-значення, де місце кожного елемента визначається значенням цього елемента. В таких таблицях реалізовані три основні операції: додавання нової пари ключ-значення, пошук за ключем та видалення за ключем. Існує два основних види хеш-таблиць:

- Хеш-таблиці з лінійним розміщенням (метод ланцюжків) – в таких таблицях виконується пошук вільної комірки до тих пір, поки не знайдеться вільна. Тобто, якщо ви намагаєтесь вставити дані, а комірка зайнята, то ви переходите до наступної комірки й так до тих пір, поки не знайдеться вільна. Рис. 2.5.

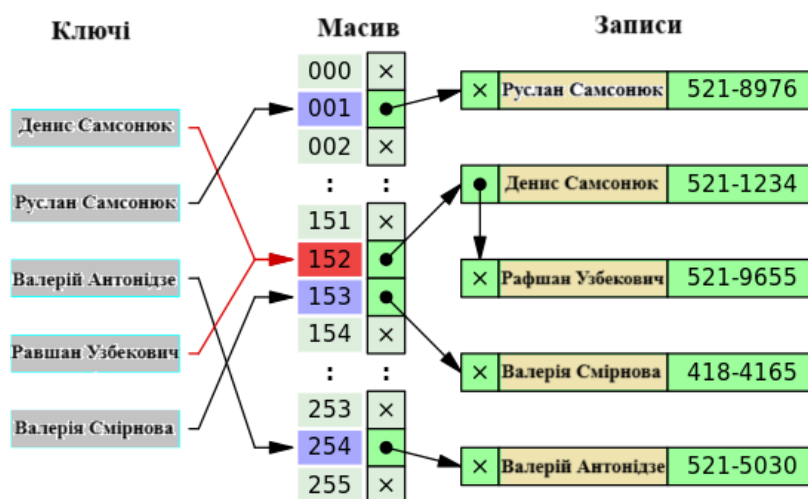


Рисунок 2.5 – Метод ланцюжків

- Хеш-таблиці з відкритою адресацією – такі таблиці використовують в якості сховища даних неперервний масив. Рис. 2.6. [6]

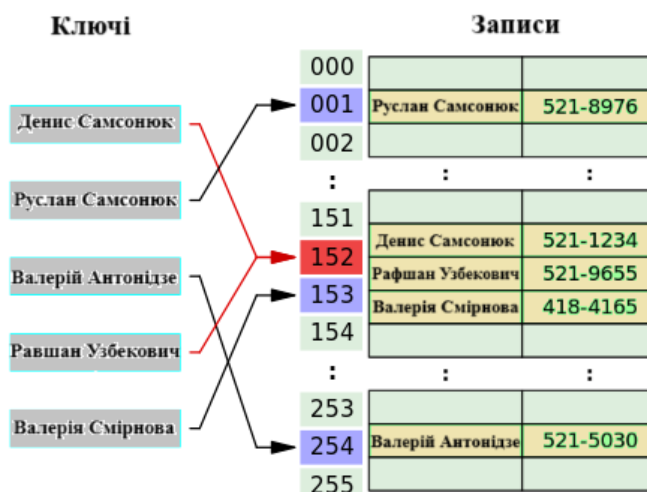


Рисунок 2.6. – Хеш-таблиці з відкритою адресацією та лінійним перебором.

Смарт-контракти:

Розумні контракти, відомі також як смарт-контракти, це контракти, що дозволяють здійснювати торгівлю різними активами, такими як нерухомість, акції або валюта, без участі третьої сторони.

Наприклад, якщо особа «X» хоче купити квартиру від особи «Y», вона може використовувати технології блокчейну та криптовалюти для простого переказу коштів. Особа «X» отримує віртуальний чек, який включається в смарт-контракт. Після того, як «Y» передає ключі в установлений термін, «X» здійснює оплату. Якщо ключі не передані, система вимагає повернення коштів. Тобто, система надає ключ «X» і повертає гроші «Y» лише тоді, коли виконуються умови, встановлені обома сторонами: оплата та передача



Рисунок 2.7 – Принцип роботи смарт-контрактів

Переваги використання смарт-контрактів:

Автономність, безпека, захист від помилок, економія, швидкість.

Типовий смарт-контракт складається з трьох ключових елементів. Перший - цифрові підписи сторін, що беруть участь. Другий - предмет договору. Третій - умови договору, які математично описані та програмно включені в договір. [7]

Всі дані для контрактів повинні надходити з надійного джерела. Для цього використовуються різні програмні застосунки та протоколи, такі як HTTPS і сертифікати безпеки SSL.

2.2 Типи блокчейну та його переваги

Від тоді як придумали блокчейн, у 2009 році, його почали активно розвивати, з часом виникли різні типи блокчейнів:

- Приватні блокчейн-мережі. Це закриті мережі які добре працюють для приватних компаній та організацій.
- Публічні блокчейн-мережі. Більшість криптовалют виникли якраз таки із публічних блокчейнів, а також зіграли певну роль у популяризації технології розподіленої книги (DLT).
- Дозволені блокчейн-мережі. Вони являються приватними блокчейнам, які надають особливий доступ авторизованим особам. Організації зазвичай встановлюють ці типи блокчейнів, щоб отримати найкраще із публічних та закритих блокчейн-мереж. Це забезпечує кращу структуру при призначенні того, хто може брати участь у мережі та в яких транзакціях.
- Консорціум Blockchains. Подібно до дозволених блокчейнів, блокчейни консорціуму мають як публічні, так і приватні компоненти, за винятком того, що кілька організацій керуватимуть однією мережею блокчейнів консорціуму.
- Гібридні блокчейни. Гібридні блокчейни — це комбінація публічних і приватних блокчейнів. [4]

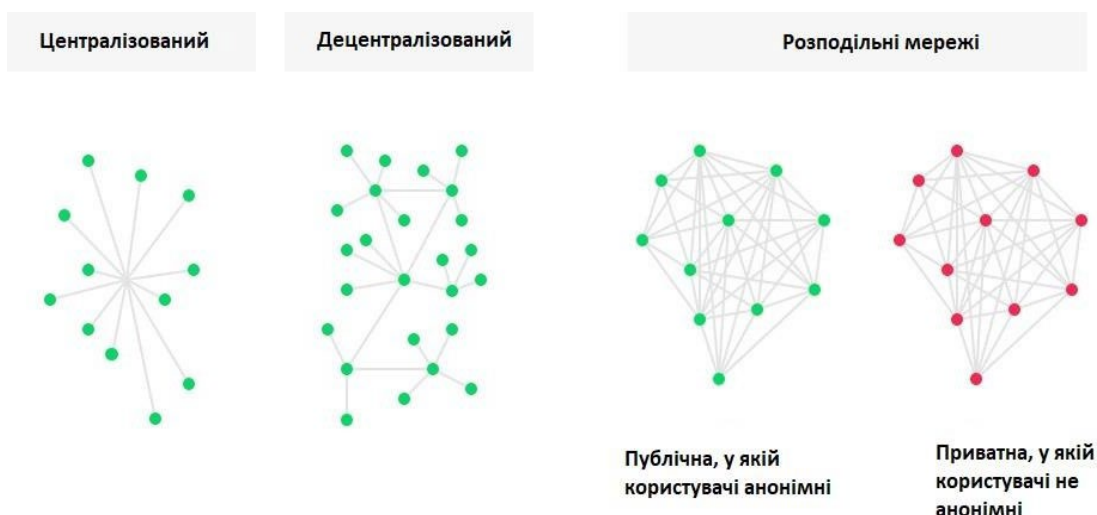


Рисунок 2.9 – Архітектура мережі blockchain

Також можна додати **переваги** та особливості блокчейна:

- Децентралізація блокчейна. Блокчейн дозволяє розподіляти дані в базі даних між кількома вузлами мережі — комп'ютерами або пристроями, на яких працює програмне забезпечення для блокчейну — у різних місцях. Це не тільки створює надмірність, але й підтримує точність даних
- Прозорість блокчейну. Через децентралізовану природу блокчейну усі транзакції можна прозоро переглядати, маючи особистий вузол або використовуючи дослідники блокчейнів, які дозволяють будь-кому бачити транзакції, що відбуваються в реальному часі.
- Безпека. Технологія блокчейн забезпечує децентралізовану безпеку та довіру кількома способами. Почнемо з того, що нові блоки завжди зберігаються лінійно та хронологічно. Тобто вони завжди додаються в «кінець» блокчейну. Після додавання блоку в кінець блокчейну попередні блоки не можна змінити. Зміна в будь-яких даних змінює хеш блоку, у якому вони були. Оскільки кожен блок містить хеш попереднього блоку, зміна в одному призведе до зміни наступних блоків. Мережа відхилила б змінений блок, оскільки хеші не збігалися б.

Блокчейн можна використовувати для незмінного запису будь-якої

кількості точок даних. Це може бути у формі транзакцій, голосів на виборах, інвентаризації, тощо.[4]

2.3 Мережа P2P і її роль для технології blockchain

Peer-to-peer (P2P) – це мережа, що складається з групи взаємопов'язаних пристроїв, які обмінюються файлами та зберігають однакові дані. Кожен учасник (вузол) є рівноправним, на відміну від традиційної архітектури, де сервер надає послуги іншим.

Вузол – це комп'ютер у блокчейн-архітектурі, який має незалежну копію всієї книги реєстру. В P2P-мережі всі учасники зазвичай мають однакову потужність і виконують ті ж самі задачі. У блокчейн-мережах P2P-платформи дозволяють учасникам здійснювати транзакції (обмін криптовалютами чи цифровими активами) через розподілену мережу без посередників. Сьогодні P2P-архітектура є невід'ємною частиною технології блокчейн.

P2P-система складається з розподілених користувачів по всьому світу. Зазвичай вона не має сервера, оскільки кожен вузол зберігає копію всіх файлів і є джерелом для інших вузлів. Таким чином, кожен пристрій може завантажувати файли з інших пристроїв і бути сервером для завантаження даних на інші девайси.

Залежно від архітектури, **існують три основні види P2P-мереж**: структуровані, неструктуровані та гібридні.

Структуровані P2P-мережі мають організовану архітектуру, яка за допомогою хеш-функцій дозволяє вузлам швидко знаходити файли, навіть якщо вони не є широкодоступними. Цей вид мережі є складнішим для розгортання та підтримки.

Неструктуровані P2P-мережі не мають конкретної організації вузлів: усі учасники взаємодіють випадковим чином. Вони є стійкішими до зміни активності вузлів, але менш ефективні при пошуку даних, оскільки запити

надсилаються максимальній кількості вузлів, що створює велике навантаження на центральний процесор та оперативну пам'ять.

Гібридні P2P-мережі поєднують традиційну модель з одноранговою моделлю. [8]

Мережевий вузол – це точка, де повідомлення можуть бути створені, передані чи отримані. Повні вузли підтримують і забезпечують безпеку блокчейн-мережі, беручи участь у перевірці транзакцій і блоків відповідно до правил консенсусу системи.

Публічний вузол (супервузол) підключається і передає інформацію будь-якому іншому вузлу, який вирішує встановити з ним з'єднання.

Отже, блокчейн є інноваційною технологією, яка забезпечує децентралізоване зберігання та обробку даних. Основні принципи роботи блокчейн технологій базуються на безпеці, прозорості та незмінності записів, що досягається через використання криптографічних методів та механізмів консенсусу. Існують різні типи блокчейну, такі як публічні, приватні та консорціумні, кожен з яких має свої переваги, включаючи підвищену безпеку, ефективність та гнучкість. Мережа P2P (peer-to-peer) відіграє ключову роль у функціонуванні блокчейну, забезпечуючи децентралізовану структуру, яка дозволяє уникнути залежності від центрального контролю та підвищує надійність системи.

3 ВИКОРИСТАННЯ BLOCKCHAIN ТЕХНОЛОГІЙ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

У міру старіння централізованих енергетичних систем багато громад шукають більш стійкі та надійні джерела енергії. У результаті ЛЕС, або малі мережі розподілених енергетичних ресурсів, стають популярними серед громад, підприємств і сусідів.

ЛЕС — це невелика самодостатня енергетична мережа, яка обслуговує локальну територію, наприклад, район, бізнес-парк або місто. Щоб зрозуміти блокчейн-додатки в цих невеликих децентралізованих системах, важливо знати, як ці енергетичні системи працюють і де цифрова книга може підтримувати їхню роботу.

Більшість енергетичних систем працюють за традиційною централізованою моделлю у великій електромережі. Електростанції виробляють енергію для всіх споживачів у певній географічній зоні. Потім широка мережа передачі розподіляє цю потужність між цими споживачами. У системі мікромережі сусіди беруть участь у локальному енергетичному ринку та можуть торгувати електроенергією в межах певної екосистеми. Побутові споживачі можуть використовувати мікромережу, як і окремі підприємства, такі як школи, шахти, мережі охорони здоров'я, військові об'єкти та муніципальні служби.

В свою чергу блокчейн — це спільна, незмінна цифрова книга, яка записує транзакції та може використовуватися для відстеження активів, таких як земля, гроші, авторські права, інтелектуальна власність і розподілені енергетичні ресурси. Блокчейн-мережі можуть бути загальнодоступними, де може брати участь будь-яка сторона, або приватними, де доступ до них мають лише авторизовані користувачі. Коли відбувається транзакція за участю цих активів, мережа блокчейну реєструє це. Кожен блок даних транзакцій з'єднується з блоками, розташованими поруч із ним у ланцюжку. Жодна сторона не може змінити або змінити транзакцію після того, як мережа блокчейну зафіксує її. Якщо транзакція

містить помилку, відповідним користувачам потрібно буде ввести нову транзакцію, щоб її вирішити. Блокчейн може підтримувати ЛЕС кількома способами. Оскільки книга є незмінною, блокчейн-мережі спрощують точне відстеження даних про енергетичні транзакції та підтверджують точний час і послідовність певних продажів. Використовуючи блокчейн-платформи управління електроенергією, усі сторони мають більший контроль і видимість використання своєї енергії та можуть легко брати участь у транзакціях.

Щоб полегшити енергетичні транзакції, користувачі можуть впроваджувати смарт-контракти в мережу блокчейн. Смарт-контракт — це набір правил, які визначають, коли може відбутися енергетична транзакція. Коли транзакція відповідає умовам смарт-контракту, блокчейн автоматично завершує продаж. Блокчейн може покращити енергетичну демократію та підтримати перехід споживачів у незалежних споживачів, які керують власними енергетичними ресурсами. Існує кілька видатних застосувань блокчейну в мікромережах, включаючи P2P торгівлю енергією, енергоефективність і віртуальні платформи управління

P2P торгівля енергією є одним із найпопулярніших застосувань використання блокчейну в мікромережах. За централізованої енергетичної системи споживачі не мають доступу до переваг, навіть якщо їхня енергетична діяльність підтримує централізовану енергосистему. Комунальні компанії зазвичай є єдиними бенефіціарами енергетичних операцій.

Трансактивні енергетичні системи, які працюють за допомогою мікромереж, зміщують цю централізовану систему. Споживачі виробляють власну енергію та продають надлишок своїм сусідам і в мережу, отримуючи при цьому компенсацію. Однак навігація в цих контрактах може бути дуже складною без потрібних інструментів. Ось тут може допомогти технологія блокчейн. Блокчейн може допомогти споживачам перевіряти, записувати та розраховувати транзакції з енергоресурсами в режимі реального часу для

кількох розподілених енергетичних ресурсів. Використовуючи платформи керування віртуальними ресурсами, просумери можуть налаштувати правила смарт-контракту для автоматичного виконання цих транзакцій. Щоб зробити трансактивну енергію доступнішою, мікромережам потрібні віртуальні платформи керування електроенергією. Постачальники потребують уявлення про свої розподілені енергетичні ресурси, виробництво електроенергії та енергетичні транзакції. Споживачі також повинні відстежувати власне споживання енергії та визначати сфери ефективності.

Блокчейн може допомогти у розробці віртуальних додатків, де як споживачі, так і споживачі можуть керувати своєю енергією. Використовуючи блокчейн-платформи, усі сторони мікромережі можуть отримувати безпечні оновлення даних про використання енергії в режимі реального часу. Користувачі Prosumers можуть налаштовувати розумні контракти без необхідності розуміти складні технологічні правила. Оскільки блокчейн-реєстри незмінні, ці платформи керування електроенергією забезпечують додатковий ступінь точності та надійності. Ніхто не може змінити або втручатися в енергетичну транзакцію, і всі сторони можуть використовувати ці платформи для відстеження та полегшення своїх транзакцій.

За даними Програми ООН з навколишнього середовища, кліматичні катаклізми, такі як повені, пожежі та посухи, з кожним роком стають все частіше. Експерти пов'язують підвищення глобальної температури та викиди парникових газів із цими катастрофічними подіями. Великі централізовані електростанції є основними джерелами цих викидів. Насправді лише 5 відсотків електростанцій на Землі відповідають за 73 відсотки глобальних викидів парникових газів. Екологічно свідомі споживачі шукають способи скорочення викидів і звертаються до мікромереж. Хоча лише мікромережі допомагають зменшити викиди, підтримуючи перехід від цих великих заводів, технологія блокчейн може

просунути цю мету ще далі. Використовуючи блокчейн, споживачі отримують більш повне уявлення про споживання енергії. У результаті вони можуть впроваджувати зміни, щоб оптимізувати ресурси та зменшити свою залежність від централізованої електромережі. У системі мікромережі блокчейн-мережі можуть автоматично оцінювати рівні енергії з розподілених енергетичних ресурсів. Аналізуючи дані в режимі реального часу, ця технологія може полегшити ефективні транзакції та допомогти зменшити викиди вуглекислого газу спільноту. Справді, тематичні дослідження показують, що запропонована система торгівлі P2P може заощаджувати 1465,9 г викидів вуглецю щодня.[8]

3.1 Переваги та недоліки застосування блокчейн технологій у локальних електричних системах

Технологія блокчейн може підтримувати мікросітку кількома способами. Однак багато людей все ще відчують певну стурбованість мережами блокчейн. Ця технологія вимагає високої масштабованості, безпечних компонентів платформи блокчейн і значних інвестицій в інфраструктуру та розвиток.

Як наслідок, існує багато проблем із впровадженням блокчейну в мікромережі:

- Проблеми масштабованості: Блокчейн-мережам необхідно опрацьовувати величезні обсяги даних, і кількість транзакцій збільшується щодня. Для забезпечення постійного зростання кількості транзакцій, блокчейн-мережам потрібна висока масштабованість. Розробка масивної та високомасштабованої інфраструктури може бути складною та витратною.

- Регуляторна підтримка: Для впровадження блокчейну в мікромережах необхідні нові типи контрактів, нормативні акти та закони для регулювання розподілених енергетичних систем. Однак енергетичні компанії можуть не бути зацікавлені в радикальній переоцінці своєї діяльності та підтримці переходу до розподілених енергетичних систем. Прихильники блокчейн-

мікросіток можуть стикатися з труднощами при спробах прийняти законодавство через опір промисловості.

- **Побоювання щодо конфіденційності:** Багато людей хвилюються через можливі проблеми з конфіденційністю при впровадженні блокчейну. У публічному блокчейні будь-хто може брати участь і переглядати дані транзакцій. Для компаній та інших приватних груп публічний блокчейн для енергетичних транзакцій може бути не найкращим рішенням. Приватні блокчейни обмежують доступ лише авторизованим користувачам і можуть задовольняти потреби конфіденційності цих підприємств.

Серед переваг впровадження блокчейн технологій у ЛЕС можна навести такі пункти:

- **Децентралізація та автономність:** Використання технології блокчейн дозволяє створювати системи управління електропостачанням, що базуються на принципах децентралізації. Керування енергією розподіляється між учасниками мережі без посередництва централізованих органів.

- **Підвищена ефективність:** За допомогою блокчейну можна вести реальний час відслідковування енергопотоків, що сприяє оптимізації розподілу енергії та зменшенню втрат.

- **Прозорість та безпека:** Використання блокчейну забезпечує безпеку та невідомі у записи, що робить процеси більш прозорими та захищеними від маніпулювання. Це сприяє підвищенню довіри між учасниками мережі.

- **Підтримка мікрогенерації:** Впровадження блокчейну може сприяти розвитку систем мікрогенерації енергії, таких як сонячні панелі або вітрогенератори. Це спонукає до виробництва енергії на місцях споживання та зменшує залежність від централізованих джерел.

- **Енергоефективність:** Блокчейн спрощує облік споживання та виробництва енергії в режимі реального часу, що дозволяє учасникам мережі ефективніше керувати своїми ресурсами.

- Підтримка нових бізнес-моделей: Завдяки блокчейну можна впровадити нові бізнес-моделі, такі як обмін енергією між споживачами, програми стимулювання енергоефективності та інші інноваційні підходи.

Незважаючи на труднощі, з якими можуть зіткнутися прихильники блокчейну під час впровадження, ця технологія має кілька переваг. Вона може відкрити економічні можливості для споживачів, які раніше не мали доступу до них, і допомогти перейти до чистої енергії, зменшивши залежність від вугільного палива. Крім того, вона може сприяти переходу від застарілих централізованих систем живлення до децентралізованих, що є надійнішими та доступнішими, особливо в умовах постійної руйнації та кризових ситуацій. [10]

3.2 Приклади впровадження технологій блокчейн у сучасні мікромережі

Блокчейн володіє характеристиками децентралізації, надійності та захисту від втручання. Багато документів підтвердили його ефективність у транзакціях на ринку електроенергії, використовуючи теорії та моделі. Крім того, блокчейн може бути застосований до слабко централізованої диспетчеризації електроенергії. Встановлено двошаровий блокчейн для оптимізації планування ЛЕС, що підвищує швидкість цього процесу. Також розроблено загальну структуру ринку мікромереж на базі блокчейну. Інформація про дані отримується за допомогою платформи керування блокчейном, а операції планування мікросіток оптимізовані шляхом поєднання методу прогнозного керування з моделлю. Блокчейн може підтримувати як незалежні, так і підключені до електромережі мікромережі, і багато спільнот, уряди та підприємства звертають на це увагу. Є кілька проектів, де люди можуть побачити блокчейн-мікромережі в дії, зокрема Бруклінська мікромережа (BMG) і проект Quartierstrom у Швейцарії.

Випадок використання №1: Бруклінська мікромережа

Початок епохи використання технології блокчейн у мікромережах розпочався з проекту Brooklyn Microgrid, розробленого компанією LO3. В цьому проекті деякі місцеві жителі Брукліна, штат Нью-Йорк, США, здійснюють торгівлю енергією один з одним без посередників, використовуючи технологію блокчейн. Ця система працює у режимі P2P (peer-to-peer), що дозволяє мешканцям, які мають сонячні батареї на дахах своїх будинків, продавати надлишкову енергію своїм сусідам. Перша угода була укладена в квітні 2016 року і стала першою в світі енергетичною угодою, здійсненою за допомогою блокчейн. Початково проект використовував блокчейн Ethereum. Проте під час реалізації проекту виявлено, що Ethereum не вирішує проблеми масштабованості, тому було прийнято рішення перейти на приватний блокчейн. Структура системи описана на рисунку 3.1.[10]

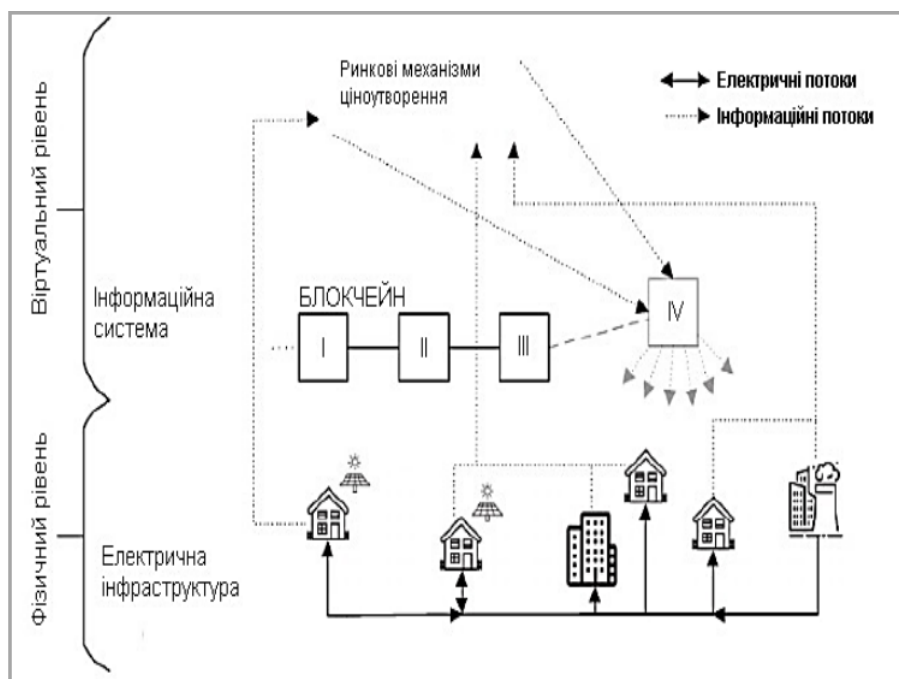


Рисунок 3.1 – Високорівнева структура Бруклінської мікромережі



Рисунок 3.2 – Візуальне зображення Бруклінської мікромережі

Випадок використання №2: проект Quartierstrom

Проект Quartierstrom є ініціативою з впровадження мікромережі, у якій беруть участь тридцять сім домогосподарств у Швейцарії. Цей проект був фінансово підтриманий Федеральним управлінням енергетики Швейцарії з метою визначення того, чи можуть мікромережі, що працюють на блокчейні, сприяти місцевій громаді.

Починаючи з липня 2019 року, спільнота виробляла власну сонячну енергію на місцевому рівні. Користувачі встановили смарт-контракти, а споживачі визначили свої максимальні ціни через цифровий портал. Кожне домогосподарство отримало комп'ютер з вбудованими лічильниками електроенергії та блокчейн-програмним забезпеченням для полегшення енергетичних транзакцій.

За допомогою автоматизованої технології блокчейн, проект Quartierstrom визначав енергоспоживання домогосподарств і кожні п'ятнадцять хвилин встановлював ставки на купівлю та продаж енергії. Це дозволило споживачам повністю брати участь в енергетичній економіці. Проект Quartierstrom завершився в липні 2020 року, але наступний проект Quartierstrom 2.0 продовжує цю ініціативу.[9]



Рисунок 3.3 – проект Quartierstrom

Випадок використання №3: Розрахунок безпечного управління енергією та торгівля на основі прогнозування в децентралізованій мікромережі з підтримкою блокчейну у програмі matlab.

План реалізації

Крок 1: Спочатку розробка моделі комунальної мережі Simulink на основі вітрових турбін, фотоелектричної енергії, сонячної енергії тощо...

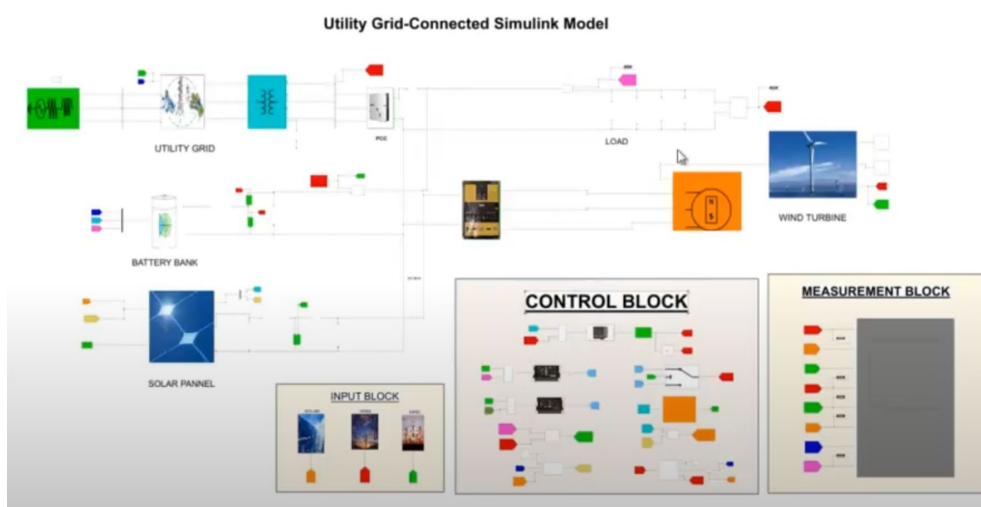


Рисунок 3.4 Модель комунальної мережі у Simulink

Крок 2: Далі виконується процес взаємної автентифікації на основі блокчейну. У цьому процесі реєстрація споживачів здійснюється EMS з

ідентифікатором інтелектуального лічильника (SID) і фізичною неклонованою функцією (PUF).

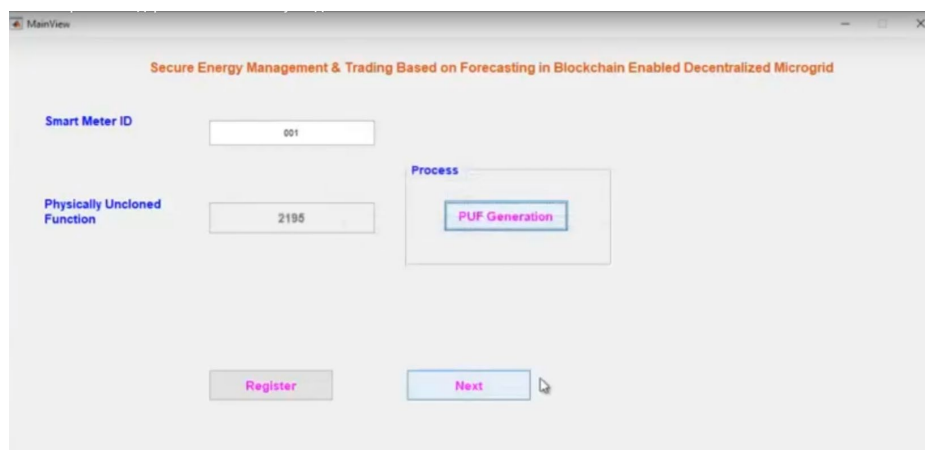


Рисунок 3.6 – Реєстрація споживачів

EMS зберігає sID і PUF зареєстрованих об'єктів і надає відкритий і закритий ключі зареєстрованим об'єктам за допомогою нового полегшеного криптографічного алгоритму (NLWCA).

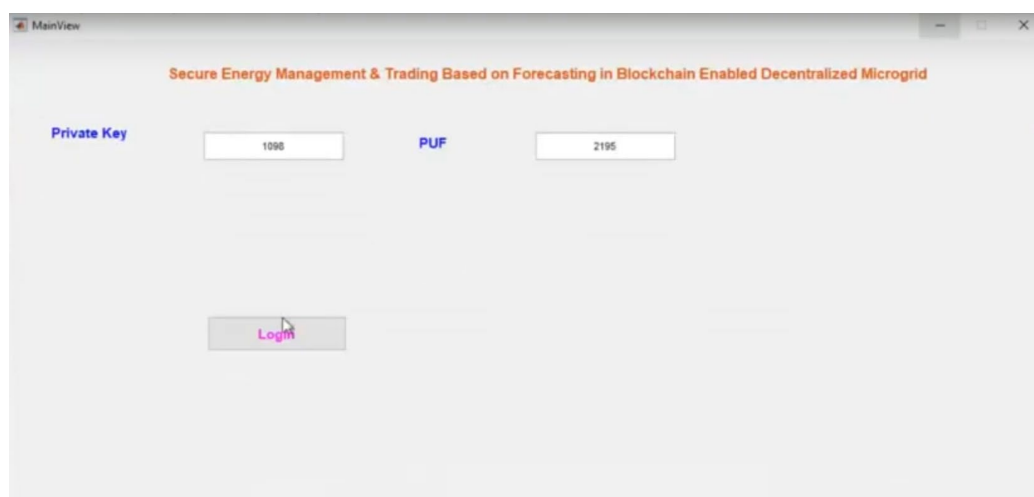


Рисунок 3.7 – Відкритий і закритий ключ

Крок 3: Далі відбувається обробка динамічної стійкості до атак, у цьому процесі динамічно виявляється та пом'якшується атака, для цього процесу використовується ефективний стійкий метод на основі Dueling Deep Q Network (DDQN).

Крок 4: Після завершення стійкості до динамічних атак виконується прогнозування з урахуванням невизначеності. У цьому процесі прогнозування погоди буде: сонячне випромінювання буде дорівнювати 0.4845, швидкість вітру буде рівна 0.1518, температура навколишнього

середовища буде мати значення 0.7819 і навантаження має значення 0.1006 виконуються паралельно з використанням минулої інформації, у якій минула інформація оновлено та вивчено для кожного часового інтервалу за допомогою моделі Gated Recurrent Unit (D-AEGRU) ансамблю подвійної уваги.

Крок 5: Потім виконується процес оптимального управління енергією. У цьому процесі потужність використовується для задоволення вимог навантаження, а додаткова доступна потужність буде використовуватися для заряджання батареї. У цьому процесі використовується The Gorilla Troop Optimizer (GTO) для оптимізації енергії шляхом прийняття контекстних рішень.

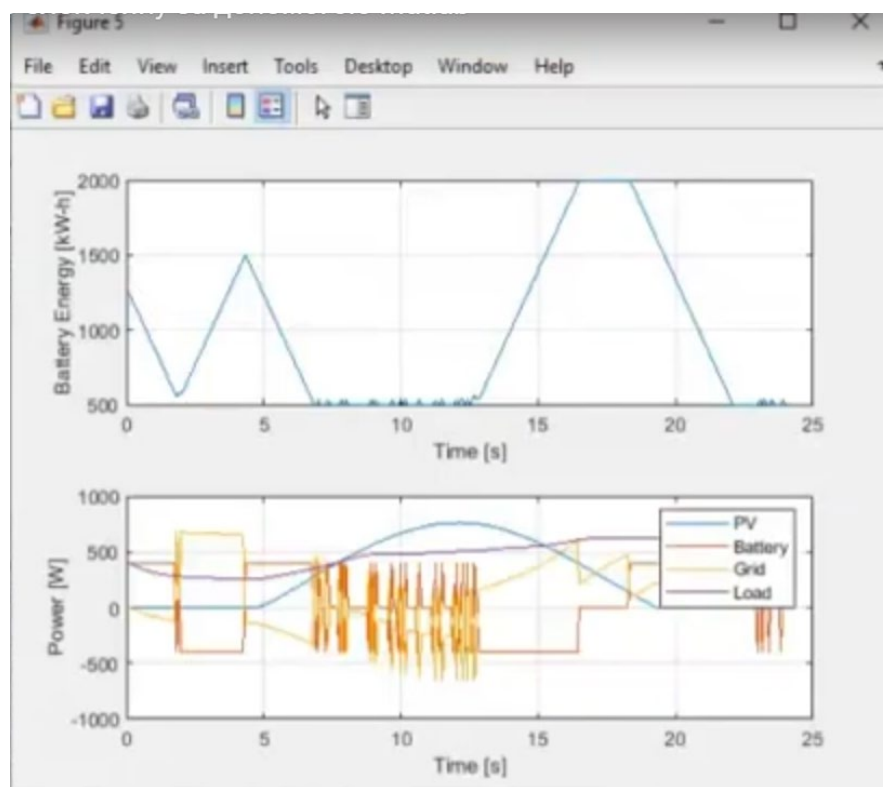


Рисунок 3.8 Графічне зображення процесу оптимального управління енергією

Крок 6: Далі виконується процес торгівлі енергією на основі аукціону. У цьому процесі торгівля енергією використовується для контролю та підвищення продуктивності мікромереж. У цьому процесі торгівля енергією здійснюється за допомогою алгоритму торгівлі енергією на основі аукціону (ABETA).

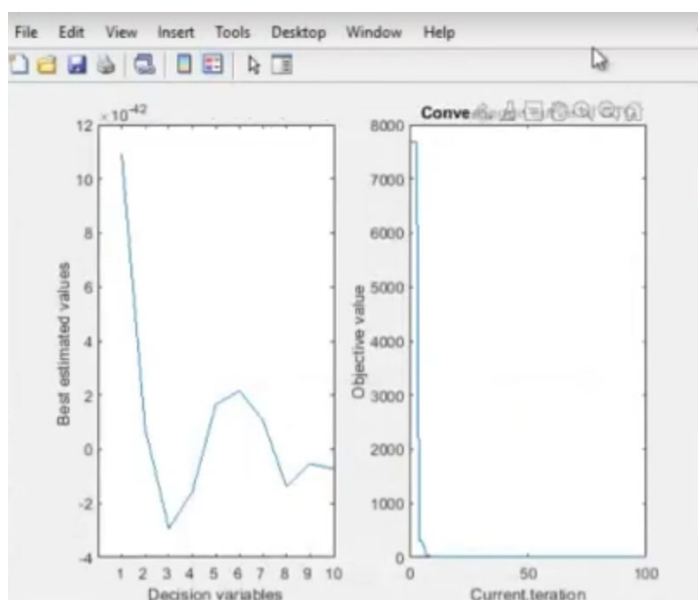


Рисунок 3.9 Графічне зображення процесу торгівлі енергією на основі аукціону

```

The perceived value of Utility Grid (top) by each Micro Grid (left):
8 8 8
3 2 3
3 2 4
Inter-grid-trading : 0 1 0
Intra-grid-trading : 0 1 0
Left todo         : 0 2 3
-----
Inter-grid-trading : 1 1 0
Intra-grid-trading : 2 1 0
Left todo         : 0 0 3
-----
Inter-grid-trading : 1 1 1
Intra-grid-trading : 2 1 3
Left todo         : 0 0 0
-----
MG1 Cost  : 15.136
MG2 Cost  : 1 1 1
MG3 Cost  : 16.379

```

Рисунок 3.10 – Отримані значення

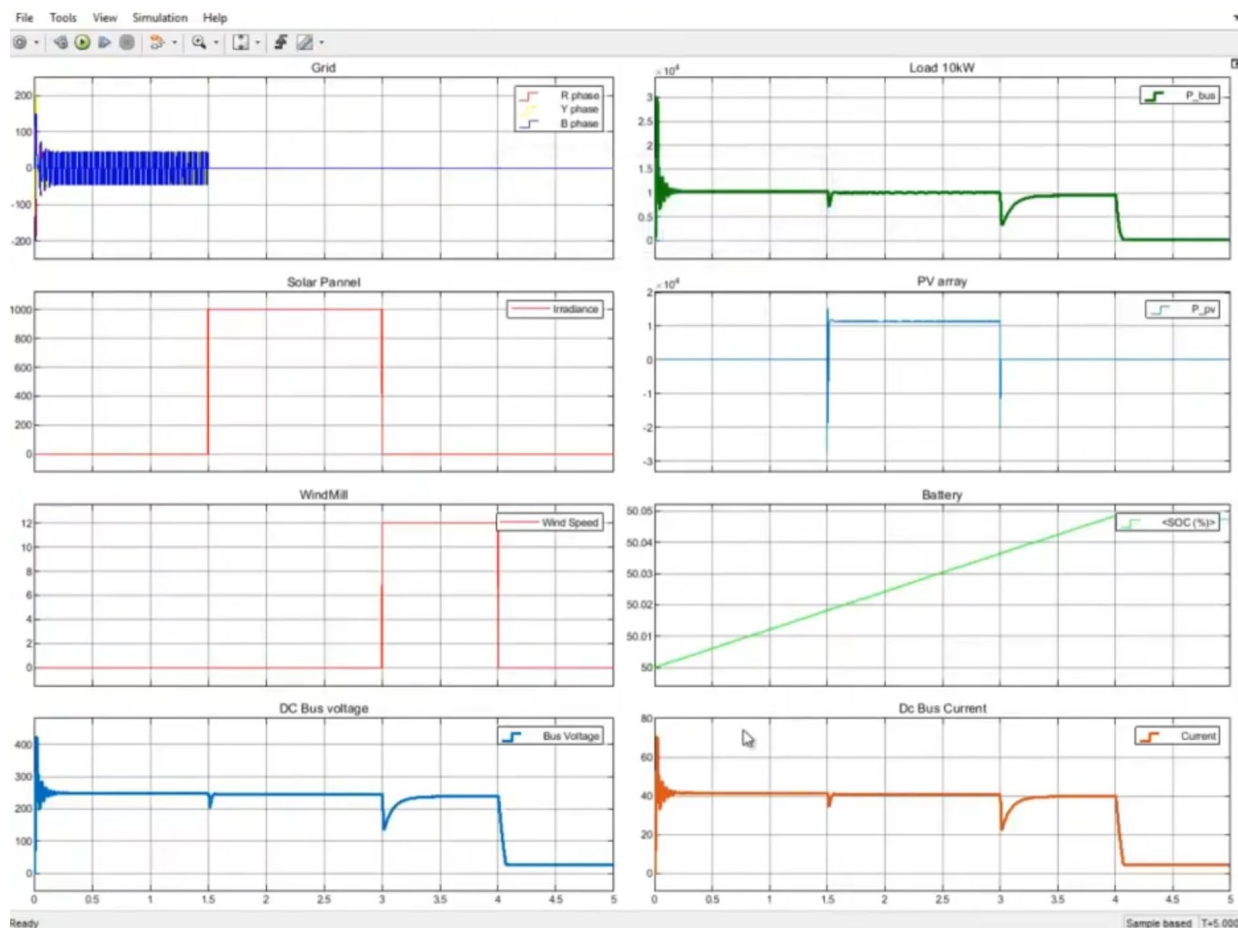
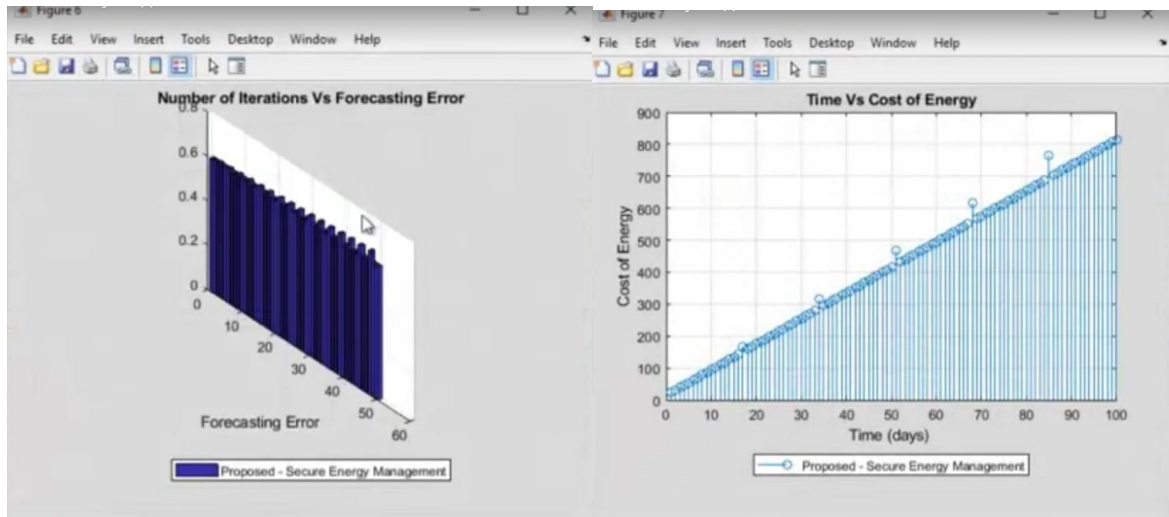
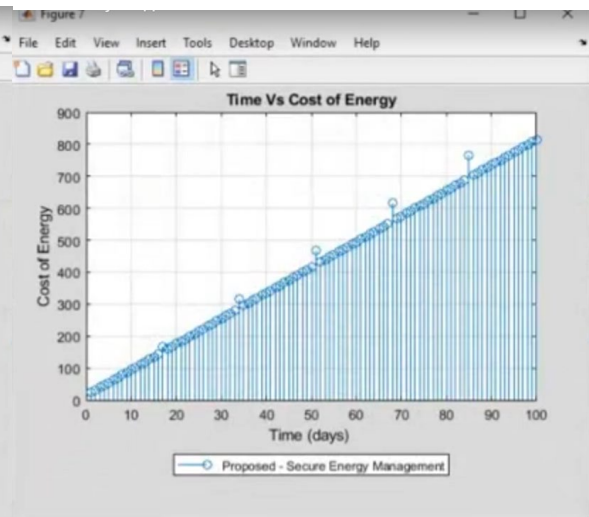


Рисунок 3.11 – Результати вимірювань у Simulink

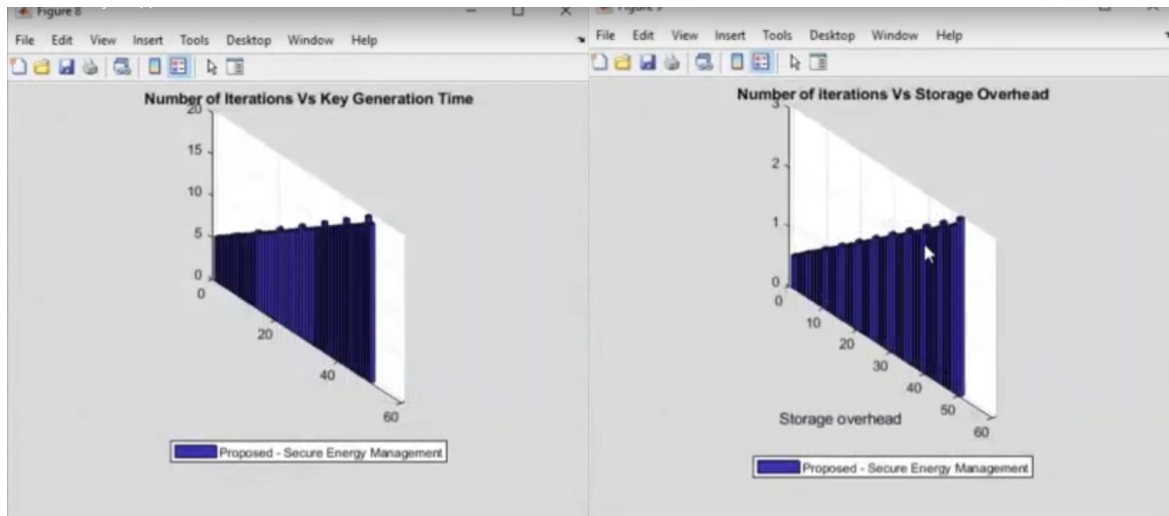
Крок 7: Нарешті, запропонована робота перевіряється з точки зору таких показників, як: Кількість ітерацій проти помилки прогнозування; Час проти вартості енергії; Кількість ітерацій проти часу генерації ключа; Кількість ітерацій проти накладних витрат на зберігання ; Кількість атак проти Швидкість виявлення; Час у порівнянні з вихідною потужністю; Час у порівнянні з навантаженням; Час у порівнянні з міцністю безпеки; Час у порівнянні з потужністю імпорту/експорту; Час у порівнянні з SOC.



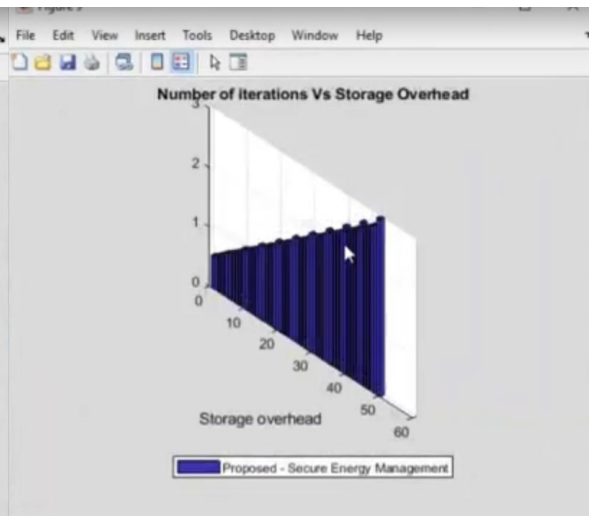
A)



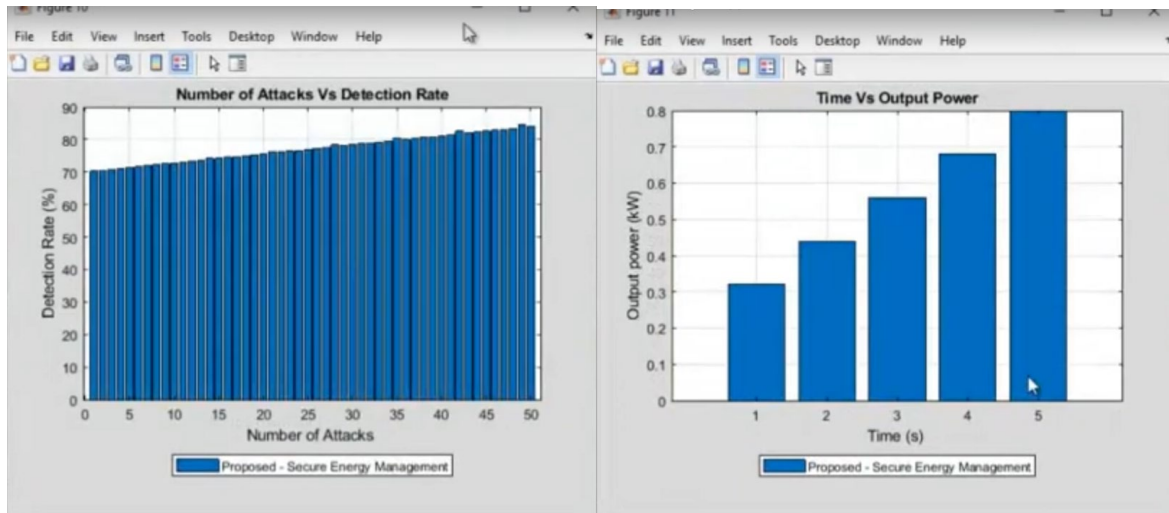
B)



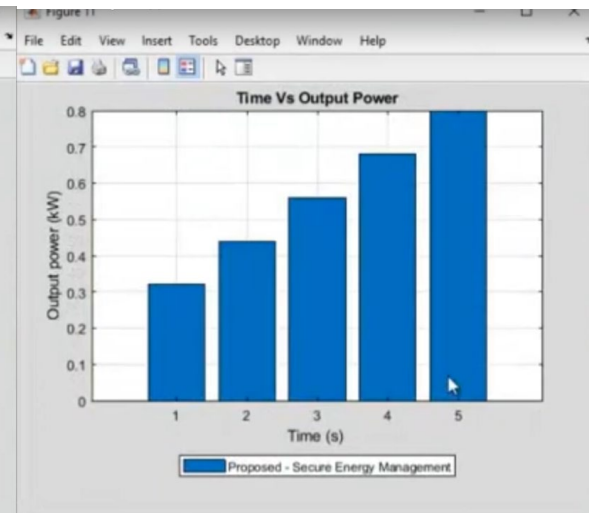
B)



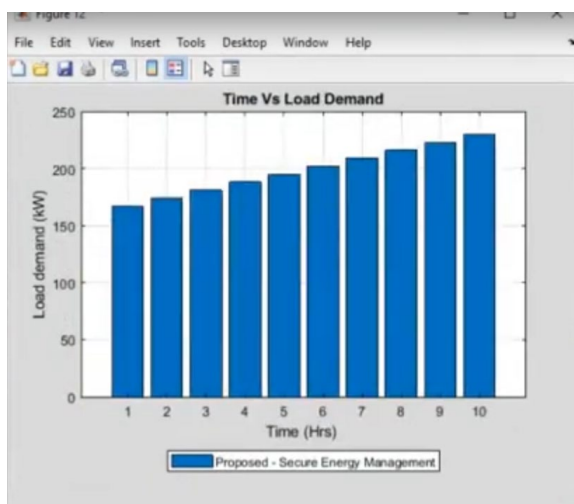
Г)



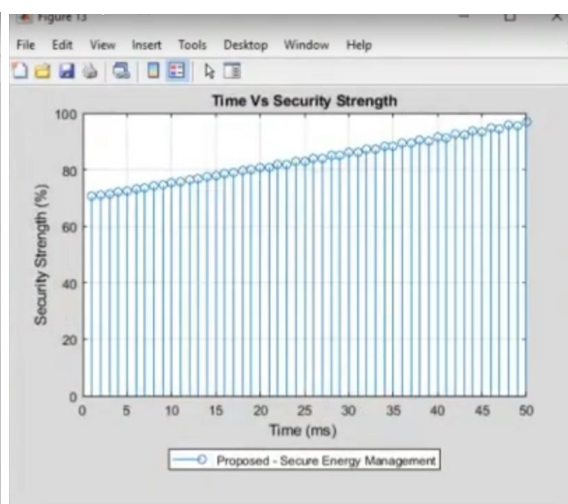
Д)



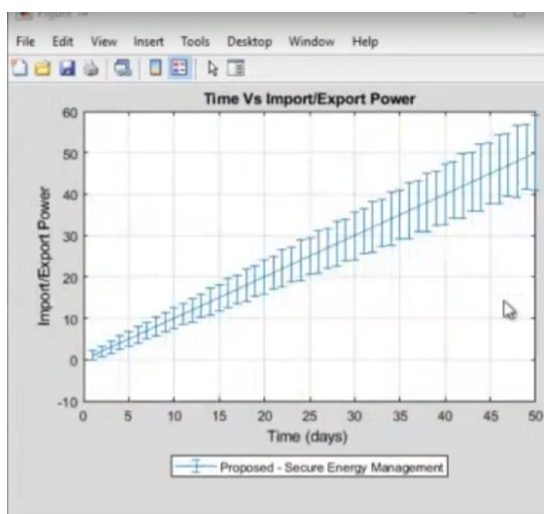
E)



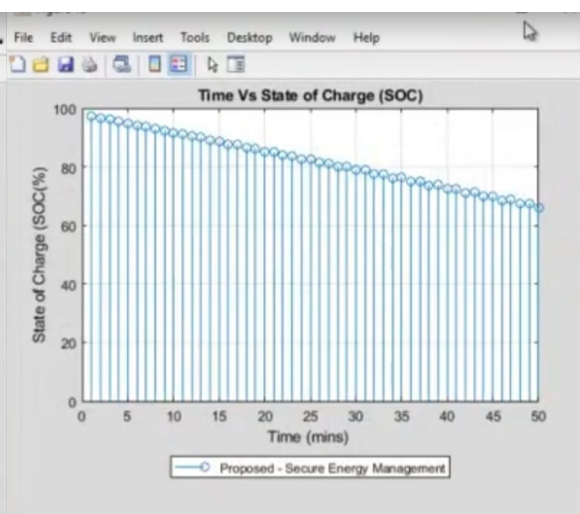
Є)



Ж)



З)



И)

Рисунок 3.7 – Отримані графічні значення дослідів

Де А) Кількість ітерацій проти помилки прогнозування; Б) Час проти вартості енергії; В) Кількість ітерацій проти часу генерації ключа; Г) Кількість ітерацій проти накладних витрат на зберігання ; Д) Кількість атак проти Швидкість виявлення; Е) Час у порівнянні з вихідною потужністю; Є) Час у порівнянні з навантаженням; Ж) Час у порівнянні з міцністю безпеки; З) Час у порівнянні з потужністю імпорту/експорту; И) Час у порівнянні з SOC.

Отже, перше впровадження блокчейн технологій у енергетичний сектор відбулося ще у 2016 році, з того моменту минуло вже 10 років, система досі працює і розвивається, це видно на наступному прикладі розрахунку безпечного управління енергією та торгівлі на основі прогнозування в децентралізованій мікромережі з підтримкою блокчейну

4 ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ BLOCKCHAIN У ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

Впровадження технології блокчейн у локальних електричних системах включає кілька ключових технічних аспектів, які потрібно розглянути.

Ось декілька основних елементів:

- **Механізм консенсусу:** Початково необхідно вибрати відповідний механізм консенсусу, що відповідає потребам конкретної локальної електричної системи. Можуть розглядатися алгоритми, такі як доказ роботи (PoW), доказ частки (PoS) або інші, з урахуванням факторів, таких як масштабованість, енергоефективність та безпека.

- **Архітектура мережі:** Наступним кроком є проектування архітектури мережі з урахуванням конкретних вимог місцевої електричної системи. Потрібно визначити, яка система блокчейн - з дозволом чи без дозволу - буде найбільш відповідати потребам. У деяких випадках може бути перевага віддачі переваги блокчейну консорціуму, що об'єднує кілька зацікавлених сторін.

- **Розумні контракти:** Важливою складовою є розробка розумних контрактів, адаптованих до функціональних вимог, необхідних в електричній системі. Розумні контракти можуть автоматизувати різні процеси, такі як торгівля енергією, виставлення рахунків та управління мережею, але також необхідно переконатися, що вони безпечні, перевірені та ефективні.

- **Масштабованість:** Також потрібно вирішити питання масштабованості для пристосування до зростаючої кількості транзакцій та учасників місцевої електричної системи. Впровадження таких рішень, як шардинг, бічні ланцюги або рішення масштабування на рівні, допомагає покращити масштабованість, зберігаючи продуктивність та децентралізацію.

- **Взаємодія:** Забезпечення взаємодії з існуючою інфраструктурою та системами в місцевій електричній мережі. Потрібно впровадити стандарти та протоколи, що забезпечують безперебійний зв'язок та обмін даними між різними компонентами системи, включаючи лічильники, мережеве обладнання та споживчі пристрої. Конфіденційність і безпека даних : Застосування необхідних заходів безпеки для захисту конфіденційних даних і забезпечення конфіденційності учасників електричної системи. Використання методів шифрування, механізми контролю доступу та методи анонімізації даних для захисту цілісності та конфіденційності даних.

- **Інтеграція з пристроями Інтернету речей:** Включення технології блокчейн у пристрої Інтернету речей (IoT), таких як розумні лічильники, датчики та системи зберігання енергії, для надання можливості моніторингу, контролю та оптимізації використання енергійних ресурсів у реальному часі. Дані, що поступають від пристроїв IoT, можуть безпечно зберігатися в блокчейні, що забезпечує прозорість та можливість відстеження.

- **Токенізація енергії:** Розгляд можливості застосування механізмів токенизації енергії для представлення та торгівлі одиницями енергії в блокчейні. Розроблення протоколів для випуску, передачі та викупу токенів, забезпечення відповідності нормативним вимогам та стандартам.

- **Зовнішні джерела даних:** Інтеграція із зовнішніми джерелами даних для забезпечення надходження вхідних даних реального світу в блокчейн, таких як погодні умови, ціни на енергію та стан мережі. Використання оракулів для допомоги розумним контрактам у прийнятті обґрунтованих рішень.

- **Моніторинг і аналітика:** Застосування інструментів моніторингу та аналітики для відстеження продуктивності та ефективності електричної системи з використанням блокчейну. Використання аналітики даних для отримання інформації, оптимізації операцій та виявлення можливостей для вдосконалення.

З урахуванням цих технічних аспектів успішне впровадження блокчейну в локальних електричних системах може забезпечити переваги, такі як децентралізована торгівля енергією, покращена прозорість, а також підвищена безпека та ефективність.

4.1 Принципи розробки архітектури системи на основі блокчейн технологій

Архітектура локальних електричних систем на основі блокчейн - це сучасний підхід до організації та управління електроенергетичними мережами, який використовує технологію блокчейн для забезпечення децентралізованого та безпечного обміну електроенергією між споживачами та виробниками.

Основними елементами архітектури локальних електричних систем на основі блокчейн являються:

- Децентралізована мережева інфраструктура, яка складається з вузлів якими є усі учасники мережі тобто: споживачі енергії, виробники енергії, комунальні регулятори які можуть керувати цими вузлами. За допомогою однорангового зв'язку (P2P): учасники цієї мережі можуть зв'язуватися на пряму, полегшуючи обмін даними в реальному часі без посередників.

- Далі іде рівень блокчейну в якому розподілена книга(блокчейн) використовується для децентралізованого запису транзакцій, споживання, виробництва та торгівлі енергією. А впровадження розумних контрактів забезпечить автоматизацію та забезпечення виконання угод про торгівлю енергією, що в свою чергу дає змогу прозорості і довіру між учасниками, а механізм консенсусу(наприклад, доказ роботи, доказ частки) буде відповідати за підтвердження транзакцій і захисту мережі.

- Важливою частиною архітектури також являється управління та збереження даних. Незмінне зберігання даних пов'язаних з енергією, у блокчейні, в свою чергу знизить до мінімуму несанкціоновані втручання.

Також є можливість рішення для даних поза ланцюгом, впровадження

рішення для зберігання великих обсягів даних, таких як історія споживання та показники продуктивності мережі.

- Цифрова ідентифікація та контроль доступу:

Цифрова ідентифікація забезпечить безпечний доступ учасників і пристроїв у мережі.

Контроль доступу буде визначати політику контролю доступу для керування доступом до даних і дозволами на транзакції на основі ролей учасників.

- Інтеграція з пристроями IoT такими як датчики та оракули даних. Інтеграція датчиків IoT (наприклад, інтелектуальні лічильники, датчики мережі) будуть відповідати за збір даних у реальному часі про виробництво енергії, споживання та стан мережі. Використання оракулів даних надає можливості безпечного перемикавання реальних даних із пристроїв Інтернету речей із блокчейном, уможливлуючи виконання смарт-контрактів на основі зовнішніх подій.

- Інтерфейс користувача(програми для споживачів та виробників): Програми для споживачів надасть можливість для споживачів, щоб контролювати споживання енергії, брати участь у торгівлі енергією та переглядати платіжну інформацію, а інтерфейси виробників енергії будуть використовуватися для керування генеруючими активами, відстеження виробництва та участі в торгівлі.

- Масштабованість і продуктивність : реалізуйте рішення масштабування(наприклад, бічні ланцюги, канали стану) для покращення пропускної здатності та зменшення витрат на транзакції. Дослідивши методи шардингу можна використати для розділення мережі блокчейну для паралельної обробки транзакцій і підвищення масштабованості.

- Безпека та конфіденційність може надати шифрування, використовуючи методи шифрування для безпечної передачі та зберігання даних, захисту конфіденційної інформації.

- Відповідність стандартам: Забезпечення відповідності галузевим

стандартам для полегшення взаємодії з існуючими енергетичними системами та технологіями.

- Відповідність нормативним вимогам потрібна для дотримання місцевих енергетичних правил і стандартів та забезпечення прозорості та можливості відстеження енергетичних транзакцій відповідно до нормативних вимог.

4.2 Аналіз інструментів та платформ для реалізації блокчейн у локальних електричних системах

Аналіз інструментів та платформ для реалізації технології блокчейн у локальних електричних системах включає розгляд різних варіантів, які можуть бути використані для побудови децентралізованих систем обміну електроенергією. Декілька таких платформ наведено нище:

- **Power Ledger** - це блокчейн-платформа, яка спрямована на створення децентралізованих систем енергетики та торгівлі електроенергією. Вона дозволяє учасникам мережі обмінюватися електроенергією між собою, вести облік споживання та виробництва енергії за допомогою блокчейн-технології. Power Ledger дозволяє створювати децентралізовані мережі енергетики, де учасники можуть обмінюватися електроенергією без посередництва традиційних постачальників енергії. Це може бути корисним для локальних електричних систем, де споживачі мають можливість генерувати власну електроенергію за допомогою сонячних панелей або інших джерел відновлюваної енергії. Платформа Power Ledger надає інструменти для відстеження споживання та виробництва електроенергії кожним учасником мережі. Це дозволяє ефективно керувати енергетичним балансом у локальних системах та забезпечувати ефективне використання відновлюваних джерел енергії. Power Ledger використовує смарт-контракти для автоматизації процесів торгівлі електроенергією та розрахунків між учасниками мережі. Це дозволяє знизити витрати на транзакції та забезпечити безпеку та надійність операцій. Power Ledger надає інструменти

для управління ризиками та оптимізації енергетичних процесів у локальних електричних системах.[11]

- **Ethereum** - це одна з найбільш відомих та використовуваних платформ для реалізації блокчейн технології. Вона надає потужні інструменти для розробки децентралізованих додатків, включаючи системи управління локальними електричними мережами. Ethereum дозволяє створювати та розгортати смарт-контракти - програмні коди, що запускаються на блокчейні та автоматизують виконання угод. Вони можуть бути використані для реалізації різноманітних функцій у локальних електричних системах, таких як автоматичне визначення та виконання угод про купівлю/продажу електроенергії. Ethereum підтримує стандарти токенів ERC-20 та ERC-721, що дозволяють видачу та обмін різних видів токенів на основі блокчейн. Це може бути корисно для впровадження системи платежів, винагород, або навіть торгівлі правами на електроенергію. Ethereum має широкий спектр можливостей для розробників, включаючи різні мови програмування (зокрема Solidity) та готові бібліотеки для реалізації різних функцій. Для великих масштабів та вимогливих застосувань, можуть виникати труднощі у масштабуванні. Для розробників Ethereum надає різноманітні інструменти, включаючи офіційні документації, SDK (набори для розробки програмного забезпечення), тестові мережі та інші ресурси.

Загалом, Ethereum може бути потужним інструментом для реалізації блокчейн технології в локальних електричних системах, проте варто враховувати і його обмеження та особливості при розробці та впровадженні проектів.[12]

- **Hyperledger Fabric** - це одна з провідних платформ для створення блокчейн-додатків з відкритим вихідним кодом. Його особливість полягає в тому, що вона дозволяє створювати приватні, дозволені блокчейни, які можуть використовуватися для різних бізнес-випадків. Hyperledger Fabric надає можливість встановлення приватності для даних та транзакцій, що є

критичним для систем електропостачання, де конфіденційні дані можуть бути чутливими.

Архітектура Hyperledger Fabric є дуже модульною, що дозволяє розширювати та налаштовувати різні аспекти блокчейн-мережі відповідно до конкретних потреб локальної електричної системи.

У багатьох електричних системах можуть бути наявні старі системи та протоколи. Hyperledger Fabric може інтегруватися з такими системами шляхом створення мостів або використання механізмів зв'язку.

Hyperledger Fabric надає різні механізми для керування мережею, включаючи можливості керування правами доступу та ідентифікацією учасників, що є важливим для забезпечення безпеки та надійності системи.

У порівнянні з деякими іншими блокчейн-платформами, Hyperledger Fabric може мати кращу швидкість, що є важливим фактором для систем, де час відповіді є критичним параметром, наприклад, у реальному часі систем електропостачання.

Hyperledger Fabric розроблений з урахуванням потреб в масштабованості. Він може обробляти велику кількість транзакцій на рівні мережі, що є важливим для великих та розподілених систем електропостачання.[13]

- **Платформа ІОТА** відрізняється від традиційних блокчейн-платформ у багатьох аспектах, особливо в контексті її застосування у локальних електричних системах. Однією з основних переваг ІОТА є відсутність комісій за транзакції. Це особливо корисно в локальних електричних системах, де мікроплатежі можуть стати значними, і де потрібна висока ефективність обробки транзакцій. ІОТА пропонує безмежну масштабованість, оскільки його масштаби не залежать від кількості транзакцій у мережі. Це важливо для локальних електричних систем, де може бути велика кількість малих транзакцій між покупцями та продавцями електроенергії. ІОТА використовує напрямований ациклічний граф (DAG) замість ланцюга блоків. Це дозволяє знизити час підтвердження транзакцій та збільшити пропускну здатність мережі. Можливість здійснення мікроплатежів без

комісій робить ІОТА ідеальним вибором для локальних електричних систем, де навіть дуже малі суми можуть мати значення. ІОТА має вбудовану систему безпеки, яка базується на протоколі консенсусу Tangle. Це забезпечує високий рівень безпеки для транзакцій в мережі. ІОТА має широку спільноту розробників та партнерів у різних сферах, що може бути корисним у впровадженні технології блокчейн у локальні електричні системи.[14]

- **VeChain** - це платформа блокчейн, яка спеціалізується на вирішенні проблем автентифікації та відстеження продуктів у постачальному ланцюзі. Однак, хоча VeChain не зосереджується безпосередньо на локальних електричних системах, можливості технології блокчейн, які вона надає, можуть бути корисними для реалізації таких систем. За допомогою технології VeChain можна створити систему відстеження джерел енергії, що дозволить ефективніше контролювати виробництво та розподіл електроенергії в локальних мережах. Блокчейн дозволяє створювати неухильний журнал транзакцій, який може бути доступним для всіх учасників мережі. Це допомагає забезпечити відкритість та довіру в системі електропостачання. VeChain може бути використана для збору та аналізу даних про споживання електроенергії, що дозволить покращити стратегії енергозабезпечення та енергоефективності. Використання блокчейну для реєстрації та відстеження енергозберігаючих заходів, таких як встановлення сонячних панелей або енергоефективних систем, може сприяти стимулюванню їх впровадження. [15]

Отже, технічні аспекти впровадження блокчейн у локальних електричних системах мають значний потенціал для підвищення ефективності та безпеки енергетичних мереж. Аналіз інструментів та платформ для реалізації блокчейн у локальних електричних системах показує, що існує широкий спектр рішень, які можуть бути адаптовані до специфічних вимог та умов. Впровадження цих технологій сприятиме підвищенню ефективності, безпеки та стійкості локальних електричних систем.

5 ПРАКТИЧНІ ЕКСПЕРЕМЕНТИ ТА ВИПРОБУВАННЯ

У практичному експерименті буде розглянуто розрахунок ефективності для локальної електричної системи до впровадження блокчейну та після, результати будуть порівняні та на основі них будуть зроблені висновки на скільки впровадження блокчейну в ЛЕС є доцільним.

Для цього потрібно розглянути такі ключові показники як:

- Капітальні витрати - це сума грошей, яку необхідно буде інвестувати для побудови, придбання або впровадження системи. Капітальні витрати включають в себе витрати на обладнання, будівництво, інженерні роботи та будь-які інші витрати, пов'язані з запуском проекту.
- Операційні витрати - це щоденні витрати на управління та підтримку системи. Це може включати витрати на паливо, обслуговування, ремонт, оплату праці персоналу, страхування та інші витрати, пов'язані з щоденною експлуатацією системи.
- Втрати електроенергії - це енергія, яка втрачається в процесі генерації, передачі та розподілу електричної енергії. Втрати можуть виникати через опір провідників, трансформаторів, теплові втрати тощо.
- Ефективність системи - це відношення між корисною енергією, яку система виробляє або використовує, і загальною енергією, яка витрачається або генерується системою. Чим вище ефективність, тим менше втрат і тим більше користі від системи.
- Вартість виробленої електроенергії - це ціна, за яку електрична енергія продається або виробляється. Вона може бути виміряна у гривнях за кіловат-годину (UAH/кВт·год) або у будь-якій іншій валюті.
- Термін окупності - це час, необхідний для того, щоб повністю відшкодувати інвестиції у проект. Термін окупності розраховується як відношення капітальних витрат до річного прибутку або заощадження від проекту. Чим коротший термін окупності, тим швидше інвестиція повертається.

5.1 Розрахунок та аналіз ефективності впровадження блокчейн у локальні електричні системи

Для розрахунку ефективності візьмемо ЛЕС яка складається з:
Сонячні панелі → Інвертор → Мережа передачі → Мережа

розподілу → Будинки / Споруди (Кінцеві споживачі). Наведені початкові данні розрахунку ефективності локальної електричної системи до впровадження блокчейну та після були присвоєні у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Умовні позначення

Параметр	До впровадження блокчейн	Після впровадження блокчейн	Умовні позначення
Потужність сонячних панелей (кВт)	500	500	P_{Π}
Втрати на трансформацію	2%	2%	ΔT
Втрати в мережах передачі	5%	4%	ΔM
Втрати на розподілі	3%	2%	ΔP
Капітальні витрати на встановлення (UAH)	18000000	18000000	B_B
Впровадження блокчейн технологій (UAH)	-	1800000	$blockchain$
Операційні витрати (UAH/рік)	360000	360000	O_B
Витрати на технічне обслуговування (UAH/рік)	180000	180000	B_{TX}
Витрати на обслуговування блокчейн (UAH/рік)	-	90000	$B_{blockchain}$
Зменшення операційних витрат	-	15%	$O_{зменш}$
Вартість електроенергії (UAH/кВт·год)	2.7	2.7	$\mathcal{C}$

Розрахунки ефективності

До впровадження блокчейн технологій:

1. Загальні капітальні витрати:

$$Z_{KB} = B_B + blockchain; \quad (5.1)$$

$$Z_{KB} = 180000000 + 0 = 180000000 \text{ UAH}.$$

2. Операційні витрати за рік:

$$O_{B/pik} = B_{TX} + O_B; \quad (5.2)$$

$$O_{B/pik} = 360000 \text{ UAH} + 180000 \text{ UAH} = 540000 \text{ UAH} / \text{рік}.$$

3. Втрати електроенергії:

3.1 Втрати на трансформацію:

$$\Delta T_B = \Delta T + P_{II}; \quad (5.3)$$

$$\Delta T_B = 0.02 \cdot 500 = 10 \text{ кВт}.$$

3.2 Втрати в мережах передачі:

$$\Delta M_B = \Delta M \cdot (P_{II} - \Delta T_B); \quad (5.4)$$

$$\Delta M_B = 5\% \cdot (500 - 10) = 24.5 \text{ кВт}.$$

3.3 Втрати на розподілі:

$$\Delta P_B = \Delta P \cdot (P_{II} - \Delta T_B - \Delta M_B); \quad (5.5)$$

$$\Delta P_B = 3\% \cdot (500 - 10 - 24.5) = 14.175 \text{ кВт}.$$

3.4 Загальні втрати:

$$\Delta B_3 = (\Delta T_B + \Delta M_B + \Delta P_B); \quad (5.6)$$

$$\Delta B_3 = (10 + 24.5 + 14.175) = 48.675 \text{ кВт}.$$

3.5 Сукупні втрати:

$$\Delta C_B = 1 - (1 - \Delta T) \cdot (1 - \Delta M) \cdot (1 - \Delta P); \quad (5.7)$$

$$\Delta C_B = 1 - (1 - 0.02) \cdot (1 - 0.05) \cdot (1 - 0.03) = 0.09893 \text{ або } 9.8393\%.$$

4 Корисна потужність:

$$P_K = P_{\Pi} - \Delta B_3 \quad (5.8)$$

$$P_K = 500 - 48.675 = 451.325 \text{ кВт}$$

5 Ефективність системи:

$$E_C = \frac{P_K}{P_{\Pi}}; \quad (5.9)$$

$$E_C = \frac{451.325}{500} = 90.27\%.$$

6 Річне виробництво електроенергії:

$$B_{ен/рік} = P_{\Pi} \cdot 0.2 \cdot 365 \cdot 24; \quad (5.10)$$

$$B_{ен/рік} = 500 \cdot 0.2 \cdot 365 \cdot 24 = 876000 \text{ кВт·год}.$$

7 Втрати в електроенергії за рік:

$$\Delta B_{рік} = B_{ен/рік} - \Delta C_B; \quad (5.11)$$

$$\Delta B_{рік} = 876000 \cdot 0.09893 = 86662.68 \text{ кВт·год}.$$

8 Корисна електроенергія за рік:

$$E_K = \Delta B_{рік} - B_{ен/рік}; \quad (5.12)$$

$$E_K = 876000 - 86662.68 = 789337.32 \text{ кВт·год}.$$

9 Річний дохід від продажу електроенергії:

$$D_E = E_K - Ц; \quad (5.13)$$

$$E_K = 789337.32 \cdot 2.7 = 2\,131\,210.76 \text{ UAH}.$$

10 **Чистий річний дохід:**

$$D_{\text{рік}} = D_E - O_{B/\text{рік}}; \quad (5.14)$$

$$D_{\text{рік}} = 2\,131\,210.76 - 540\,000 = 1\,591\,210.76 \text{ UAH}.$$

11 **Термін окупності:**

$$D_{\text{рік}} = \frac{Z_{KB}}{D_{\text{рік}}}; \quad (5.15)$$

$$D_{\text{рік}} = \frac{18\,000\,000}{1\,591\,210.76} = 11.31 \text{ років}.$$

Після впровадження блокчейн технологій:

1. **Загальні капітальні витрати:**

$$Z_{KB} = 18\,000\,000 + 180\,000 = 19\,800\,000 \text{ UAH}.$$

Зменшення операційних витрат на 15%(блокчейн):

$$ZO_{B/\text{рік}} = O_B - (O_{\text{змени}} + O_B); \quad (5.16)$$

$$ZO_{B/\text{рік}} = 360\,000 \text{ UAH} - (360\,000 \text{ UAH} \cdot 0.15) = 306\,000 \text{ UAH}.$$

2. **Операційні витрати за рік:**

$$O_{B/\text{рік}} = B_{TX} + O_B + B_{\text{blockchain}}; \quad (5.17)$$

$$O_{B/\text{рік}} = 306\,000 \text{ UAH} + 180\,000 \text{ UAH} + 90\,000 \text{ UAH} = 576\,000 \text{ UAH} / \text{рік}.$$

3. Втрати електроенергії:

3.1 Втрати на трансформацію:

$$\Delta T_B = 0.02 \cdot 500 = 10 \text{ кВт}.$$

3.2 Втрати в мережах передачі:

$$\Delta M_B = 4\% \cdot (500 - 10) = 19.6 \text{ кВт}.$$

3.3 Втрати на розподілі:

$$\Delta P_B = 2\% \cdot (500 - 10 - 19.6) = 9.41 \text{ кВт}.$$

3.4 Загальні втрати:

$$\Delta B_3 = (10 + 19.6 + 9.41) = 39.01 \text{ кВт}.$$

3.5 Сукупні втрати:

$$\Delta C_B = 1 - (1 - 0.02) \cdot (1 - 0.04) \cdot (1 - 0.02) = 0.0788 \text{ або } 7.88\%.$$

4 Корисна потужність:

$$P_K = 500 - 39.01 = 460.99 \text{ кВт}.$$

5 Ефективність системи:

$$E_C = \frac{460.99}{500} = 92.2\%.$$

6 Річне виробництво електроенергії:

$$B_{en/pik} = 500 \cdot 0.2 \cdot 365 \cdot 24 = 876\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

7 **Втрати в електроенергії за рік:**

$$\Delta B_{\text{рік}} = 876\,000 \cdot 0.0788 = 69028.8 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

8 **Корисна електроенергія за рік:**

$$E_K = 876\,000 - 69028.8 = 806971 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

9 **Річний дохід від продажу електроенергії:**

$$E_K = 806971 \cdot 2.7 = 2\,178\,822.24 \text{ UAH}.$$

10 **Чистий річний дохід:**

$$D_{\text{рік}} = 2\,178\,822.24 - 576\,000 = 1\,602\,822.24 \text{ UAH}.$$

11 **Термін окупності:**

$$D_{\text{рік}} = \frac{19\,800\,000}{1\,602\,822.24} = 12.35 \text{ років}.$$

Таблиця 5.2 – Отримані результати

Показник	До блокчейн	Після блокчейн
Капітальні витрати	18 000 000 UAH	19 800 000 UAH
Операційні витрати за рік	540 000 UAH/рік	576 000 UAH/рік
Загальні втрати (кВт)	48.675 кВт	39.01 кВт
Ефективність системи (%)	90.27%	92.2%
Втрати електроенергії за рік	86662.68 кВт·год	69028.8 кВт·год
Корисна електроенергія за рік	789 337.32 кВт·год	806971 кВт·год
Річний дохід від продажу	2 131 210.76 UAH	2 178 822.24 UAH
Чистий річний дохід	1 591 210.76 UAH	1 602 822.24 UAH
Термін окупності	11.31 років	12.35 років

Впровадження блокчейн технологій у локальну електричну систему призводить до:

- 1) Збільшення капітальних витрат: на 1800000 UAH, або на 100%.
- 2) Збільшення операційних витрат: на 36000 UAH/рік, або на 6.6%.

3) Зменшення втрат електроенергії: з 48.675 кВт до 39.01 кВт, або на 19,9%.

4) Підвищення ефективності системи: з 90.27% до 92.2%, на 1.93%.

5) Зменшення втрат електроенергії за рік: на 17633.88 кВт·год, або на 20.34%.

6) Збільшення річного доходу від продажу електроенергії: на 47611.48 УАН, або на 2.23%.

7) Збільшення чистого річного доходу: на 11611.48 УАН, або на 0,72%.

8) Збільшення терміну окупності: з 11.31 до 12.35 років, або на 1,04

Додаткові данні:

1) Тип блокчейн мережі: консорціумна.

2) Безпека та надійність: 0 хакерських атак / 0 успішних атак.

3) Рівень прозорості та довіри значно покращиться.

4) Швидкість обробки транзакцій*: 1 сек

5) Підвищення точності обліку та розрахунків: 10%

Отже, впровадження блокчейн технологій покращує загальну ефективність локальної електричної системи та знижує втрати електроенергії, але це супроводжується збільшенням як капітальних, так і операційних витрат, що призводить до збільшення терміну окупності.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі монтажу та експлуатації локальної електричної мережі. На оперативно-ремонтний персонал, що здійснює обслуговування системи електропостачання, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [17, 18]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

6.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Робота на опорах повітряних ліній електропередачі

Підійматися на опору і працювати на ній дозволяється тільки в тих випадках, коли є повна впевненість в її достатній міцності і стійкості. Необхідність укріплення опори і безпечні засоби визначаються на місці керівником робіт і відображаються в ППР.

Роботи з укріплення опори, механічна міцність і стійкість якої викликає

сумніви, виконуються методом закріплення тросів, відтяжок, або спеціальних пристроїв для розкріплення на опорі. В цьому разі підіймання на опору забороняється. Роботи виконуються з телескопічної вишки або іншого механізму для підіймання людей, чи з встановленої поряд іншої опори.

В разі застосування відтяжок з гаками, останні повинні мати запобіжні замки.

Підійматися на опору дозволяється членам бригади, які мають:

- групу III — під час всіх видів робіт до верху опори;
- групу II — під час робіт зі зняттям напруги — до верху опори, а під час робіт без зняття напруги — віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою, — не вище 2 м до рівня розташування нижніх проводів, з групою I — під час всіх видів робіт — не вище 3 м від землі (до ніг працівника).

Ті опори, які не розраховані на однобічне тяжіння від проводів і тросів, але тимчасово піддаються такому навантаженню, мають бути попередньо укріплені для запобігання їх падінню. Забороняється порушувати цілісність проводів і знімати в'язки на проміжних опорах без попереднього укріплення опор. Забороняється підіймання на проміжну опору, якщо на ній закріплено менше як два проводи.

На кутових опорах зі штирьовими ізоляторами підніматися і працювати з боку внутрішнього кута забороняється. Під час роботи на стійці опори розташовуватися слід таким чином, щоб не випускати з поля зору найближчі проводи, що перебувають під напругою. Під час підіймання на опору слід закріплюватися стропом запобіжного паска. Під час заміни деталей опор слід унеможливити їх зміщення або падіння опори.

Забороняється під час заміни приставок П і АП-подібних опор, відкопувати одночасно обидві стійки опори. Встановлення приставок слід починати з однієї стійки опори, і тільки після заміни на ній приставок, закріплення бандажів і трамбування ґрунту можна розпочати заміну

приставок на другій стійці. Замінювати здвоєні приставки слід по чергово. Забороняється під час витягування чи спускання приставки знаходитися у котловані.

Робота на ПЛ зі зняттям напруги

На багатоколовій ПЛ з горизонтальним розташуванням кіл працювати зі зняттям напруги з одного кола дозволяється тільки з боку цього кола. Переходити на ділянки траверс, що підтримує кола, які перебувають під напругою, забороняється.

Працювати на відключеному колі багатоколової ПЛ з розташуванням кіл одне над одним дозволяється тільки за умови, що це коло підвішене нижче від кіл, що перебувають під напругою. Підніматися на опору дозволяється тільки з боку відключеного кола. Замінювати та регулювати проводи відключеного кола забороняється.

На багатоколовій ПЛ напругою 220 кВ під час роботи на опорах зі зняттям напруги з одного кола на стійках на висоті від 2 до 3 м від землі встановлюються червоні прапорці з боку кіл, які залишилися під напругою. Прапорці встановлює керівник робіт з членом бригади, який має групу з електробезпеки III.

В разі проведення робіт з опори, телескопічної вишки без ізолювальної секції або з іншого механізму для підймання людей відстань від людини, або від інструменту та пристосувань, що застосовуються, до проводів ПЛ напругою до 1000 В, зв'язку, радіотрансляції, телемеханіки має бути не менше ніж 0,6 м. Якщо під час робіт унеможливлене наближення до вказаних проводів на меншу відстань, то вони мають відключатися і заземлюватися на місці проведення робіт.

Перетягування і заміна проводів на ПЛ напругою до 1000 В, підвішених на опорах спільно з іншими ПЛ напругою до і понад 1000 В, провадяться з відключенням і заземленням на робочих місцях або з обидвох боків ділянки робіт всіх ПЛ до і понад 1000 В.

Під час робіт на гірляндах ізоляторів дозволяється переміщуватися по підтримувальних гірляндах — як одноланцюгових, так і складених з двох і більше ланцюгів.

Працювати на одноланцюговій натяжній гірлянді дозволяється, користуючись спеціальними пристосуваннями, а в разі їх відсутності — лежачи на гірлянді і зачепившись ногами за траверсу для фіксації положення тіла.

Під час роботи на підтримувальній гірлянді строп запобіжного паска закріплюється за траверсу. Якщо довжина стропу недостатня, то необхідно користуватися закріпленими за пояс двома страхувальними канатами. Один канат прив'язують до траверси, а другий, попередньо заведений за траверсу, член бригади, який підстраховує, відпускає в міру необхідності.

Під час роботи на натяжній гірлянді строп запобіжного поясу закріплюється за траверсу або за призначені для цього пристосування.

На підтримувальних та натяжних гірляндах, складених з двох і більше ланцюгів, дозволяється закріплювати строп запобіжного паска за один з ланцюгів, на якому робота не проводиться. Закріплювати цей строп за гірлянду, на якій виконується робота, забороняється. В разі виявлення несправності, котра може призвести до розчіплювання гірлянди, робота має бути припинена. Під час підймання (або опускання) на траверси проводів, тросів, ізоляторів перебувати на траверсах, на яких підіймається вантаж, або на стійках під цими траверсами, забороняється. Вибирати схеми підймання вантажу і розміщувати підймальні блоки слід з таким розрахунком, щоб не виникали зусилля, які можуть викликати пошкодження опори.

Під час фарбування опори слід вживати заходів для запобігання потраплянню фарби на ізолятори і проводи (наприклад, застосовувати піддони). Живлення системи електропостачання та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по

небезпеці електротравматизму, відповідно до ПБЕ [20, 21], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

6.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огорожувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати

безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [19], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

Керівники підприємств, установ, організацій та інші посадові особи несуть персональну відповідальність за виконання вимог цих Правил у межах покладених на них завдань та функціональних обов'язків згідно з чинним законодавством. Працівників, які обслуговують електроустановки, необхідно забезпечити усіма необхідними засобами захисту, навчити правилам користування цими засобами і зобов'язати застосовувати їх для створення безпечних умов праці.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату в приміщенні підстанції [22], де встановлене обладнання, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення потрібних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [23]: утеплення фасаду будівлі, встановлено вентиляцію приміщень.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

В умовах, що розглядаються в роботі, можливим забруднювачем повітря може бути пил нетоксичний. Характерні забруднюючі речовини для приміщення п/ст [22] наведені в таблиці 6.2

Таблиця 6.2 Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони в роботі передбачені такі рішення [23]:

- Робочі місця, де можливе виділення пилу та, обладнані вентиляційними пристроями, які повинні бути постійно готовими до роботи.
- Будь-які порушення у системі вентиляції відображаються попереджувальними сигнальними пристроями.
- Установки для кондиціонування повітря або механічні вентиляційні установки під час їх роботи не створюють для працівників протягів.

6.2.3 Виробниче освітлення

Штучне освітлення в будівлі запроектоване загальне, освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення). Нормовані значення виробничого освітлення наведені в таблиці 6.3.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [24] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Для забезпечення нормованого значення освітлення у проєкті передбачено: використання природного та штучного освітлення; штучне освітлення повинне бути рівномірне та достатньо інтенсивне; світло не повинне створює різких тіней на місцях роботи, значних контрастів між освітленим робочим місцем і навколишньою обстановкою; штучне світло не створює зайвих відблисків у полі зору працівника.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

6.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму, що розглядаються в роботі, для працівників є шум будівельних машин і механізмів. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму [25] наведено в таблиці 6.4

Таблиця 6.4 Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

- раціональне розташування робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;

- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

6.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [27, 28]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [29], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [30].

Приміщення підстанцій за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Д –речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-Іа в приміщеннях, де є тверді горючі речовини чи матеріали (сир, масло, тара).

Будівля, в якій розташовані приміщення підстанції, характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [31] наведено в таблиці 6.5.

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати во-гонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвиликах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції:

- втрати несучої спроможності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Таблиця 6.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [31] наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 6.7 (знаменник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 6.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків, сільськогосподарських будівель і споруд потрібно приймати за таблицею 6.7 (знаменник) [31].

Таблиця 6.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
II	6/9	8/9	10/12

На території підстанції встановлено 5 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) та 12 ВВП-9 [32].

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській дипломній роботі було всебічно досліджено використання технології блокчейн в локальних електричних системах. Результати цього дослідження дозволяють зробити кілька важливих висновків щодо переваг та недоліків цього підходу, основних принципів його застосування, практичних прикладів та розрахунків ефективності.

По-перше, технологія блокчейн демонструє великий потенціал у підвищенні ефективності та надійності місцевих електричних систем. Децентралізація управління знижує залежність від центральних регуляторів і підвищує стійкість системи до різних типів атак і збоїв. Прозорість і незмінність даних, що надаються за допомогою технології блокчейн, сприяє підвищенню довіри між учасниками енергетичного ринку і знижує ризик шахрайства і помилок при обліку споживання електроенергії.

По-друге, безпека даних є однією з ключових переваг технології блокчейн. Механізми криптографічного захисту, що використовуються в блокчейні, забезпечують високий рівень захисту інформації від несанкціонованого доступу та змін. Це особливо важливо для забезпечення надійної роботи енергетичних систем в сучасних умовах кіберзагроз.

Однак впровадження технології блокчейн пов'язане з труднощами. Одним з основних недоліків є висока початкова вартість розгортання та налаштування інфраструктури блокчейна. Ці витрати можуть бути значними, особливо в невеликих організаціях та регіонах, де фінансові ресурси обмежені. Крім того, деякі блокчейн-мережі, такі як блокчейн-мережі, що використовують узгоджені алгоритми перевірки працездатності, є енергоємними і можуть суперечити принципам енергозбереження.

Складність інтеграції технології блокчейн в існуючі електричні системи також є ключовою проблемою. Цей процес вимагає високого рівня технічних знань і може зайняти значну кількість часу, який необхідно враховувати при плануванні впровадження.

Практичні приклади, такі як Brooklyn Microgrid, демонструють реальні переваги використання технології блокчейн в місцевих електричних системах. Проект показує, як може бути успішно впроваджена децентралізована модель управління енергоспоживанням, що дозволяє учасникам ринку торгувати енергією без посередників, підвищуючи ефективність і знижуючи витрати.

Проведені розрахунки ефективності впровадження технології блокчейн підтвердили економічну доцільність такого підходу в довгостроковій перспективі. Початкові витрати можуть бути високими, але з часом економія експлуатаційних витрат та підвищення ефективності управління енергією переважають витрати.

Вцілому, технологія блокчейн володіє величезним потенціалом для поліпшення функціонування місцевих електричних систем. Це сприяє більшій прозорості, безпеці та ефективності в управлінні енергоспоживанням. Однак для успішного впровадження необхідно продовжити дослідження в цьому напрямку з урахуванням існуючих проблем, щоб максимально використовувати переваги даної технології і звести до мінімуму її недоліки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Класична мікромережа [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://kts-intek.com/smart-energy-2/microgrid/>
2. Мікромережі EcoStruxure [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/work/solutions/microgrids/>
3. Microgrid Operation Mode and Architectures [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://encyclopedia.pub/entry/40602>
4. Blockchain Facts: What Is It? How it Works? And How it Can Be Used [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>
5. Blockchain Architecture Basics: Components, Structure, Benefits & Creation [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://mlsdev.com/blog/156-how-to-build-your-own-blockchain-architecture>
6. Cryptography Hash functions [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.tutorialspoint.com/cryptography/cryptography_hash_functions.htm
7. Smart Contracts: The Ultimate Guide for the Beginners [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://101blockchains.com/smart-contracts/>
8. What's a Peer-to-Peer (P2P) Network? [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/what-is-a-peer-to-peer-network>
9. Blockchain Use in Microgrids: Applications, Benefits, and Challenge. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://blockchain.ieee.org/verticals/transactive-energy/topics/blockchain-use-in-microgrids-applications-benefits-and-challenges>
10. Задачі технологій блокчейн для електричних мереж.

[Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:

<https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/PIU/article/view/14045/19765>

11. Power Ledger Whitepaper. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.powerledger.io/company/power-ledger-whitepaper>

12. ETHEREUM DEVELOPMENT DOCUMENTATION.

[Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:

<https://ethereum.org/en/developers/docs/>

13. Hyperledger Fabric Documentation. [Електронний ресурс].
Режим доступу до ресурсу:

<https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/>

14. IOTA Official Website. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.iota.org/>

15. Vechain, a sustainable, public and enterprise-grade blockchain. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:

<https://docs.vechain.org/>

16. Про схвалення Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року [Електронний ресурс]. – 2022. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-%D1%80#Text>

17. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

18. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об’єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

19. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації

електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

20. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

21. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

22. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

23. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

26. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

27. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

28. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

29. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL:

<https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

30. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

31. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

32. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

33. Самсонюк Д.Ю. Сікорська О.В. Богатова А.С. Використання блокчейн технологій в енергетиці: ЛІІ Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки. – Вінниця: ВНТУ, 2024. Режим доступу до ресурсу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/author/downloadFile/20296/71553/1>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Проектування сонячної електричної станції з аналізом причин деградації фотоелектричних модулів

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота

(БДР)

Підрозділ: кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

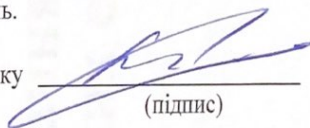
Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 91.09% Схожість 8.91%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

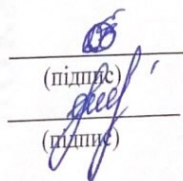
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

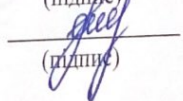
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Самсонюк Д.Ю.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Сікорська О.В.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Ілюстративна частина

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА: ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ

Використання блокчейн технологій в локальних електричних системах

ВИКОНАВ: САМСОНЮК ДЕНИС ЮРІЙОВИЧ
ГРУПА: 2ЕЕ-20Б
КЕРІВНИК: СІКОРСЬКА ОЛЕНА ВІКТОРІВНА

Вступ:

- Енергетичний сектор переживає революційні зміни, які спрямовані на забезпечення стабільності постачання енергії, забезпечення ефективного використання ресурсів, але із настанням епохи інтернету в енергетичному секторі потрібно також забезпечувати прозорість, надійність і захист критичної інфраструктури та персональних даних споживачів від зловмисників та ворожих атак особливо у нинішній час. В цьому випадку технологія блокчейн стає потужним інструментом для оптимізації та захисту локальних електричних систем, адже блокчейн являється децентралізованою технологією, він забезпечує безпеку, автентичність та непіддільність даних, виходячи із цього, цю технологію можна використати для побудови довіреного електронного середовища для обміну енергією між різними джерелами та споживачами. Тому тут буде досліджено потенціал впровадження, переваги та виклики технологій блокчейн у локальних електричних системах.
- Метою даної роботи є аналіз потенціалу технологій блокчейн у вдосконаленні локальних електричних систем задля підвищення ефективності та надійності енергопостачання. Це дослідження спрямоване на виявлення можливостей та розробку стратегій впровадження, які сприятимуть сталому розвитку електроенергетики у майбутньому.

ЩО ТАКЕ ЛОКАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ

- Локальна електрична система – це мініатюрна система електромережі, вона дозволяє генерувати власну електроенергію на об'єкті та використовувати її, коли вона найбільше потрібна. Також вона налаштована для управління розподіленими енергетичними ресурсами та може включати відновлювані джерела енергії (сонячну, вітрову та гідроенергію) з іншими невідновлюваними джерелами (такими як дизельні генератори, газові турбіни, тощо). Тому ЛЕС підключатиме, відстежуватиме та контролюватиме розподілені енергетичні ресурси, підвищуючи при цьому продуктивність, стійкий слід і стійкість. Ці мікромережі зазвичай керують енергетичними навантаженнями кількох систем генерації, а також використовують певний тип системи зберігання енергії. Вони працюють і керують усім цим за допомогою різних типів програмного забезпечення та систем керування. ЛЕС може працювати будучи підключеними до енергомережі або працювати в відключеному острівному режимі під час надзвичайних ситуацій або на основі конкретних потреб.

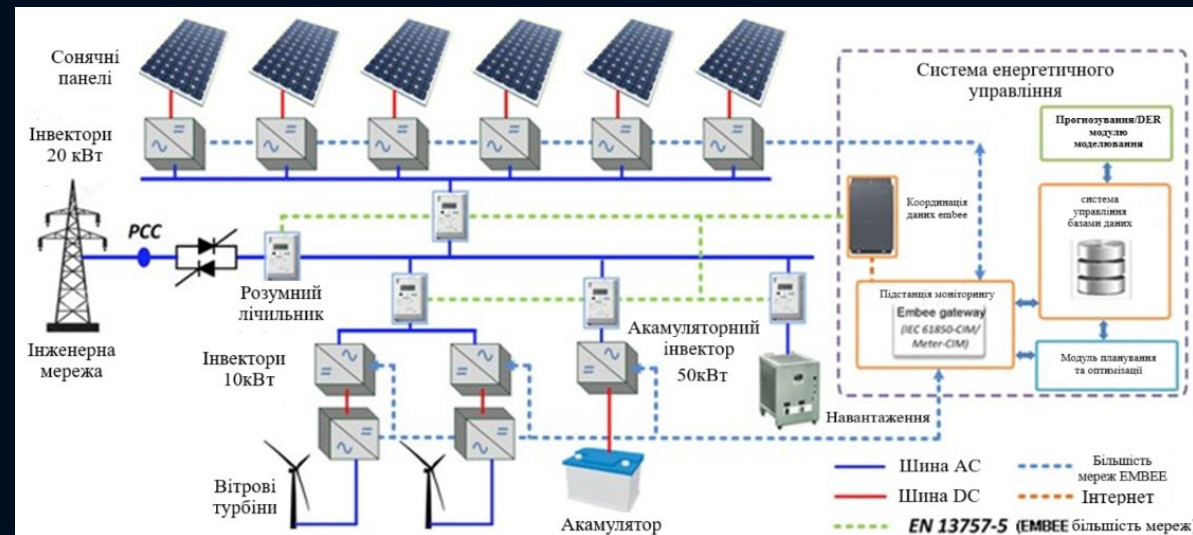


Рисунок 1 – Приклад схеми локальної електричної системи

Чому для БДР було обрано саме ЛЕС

Я обрав ЛЕС тому що, в умовах війни в Україні використання локальних систем електропостачання особливо актуальне з кількох важливих причин:

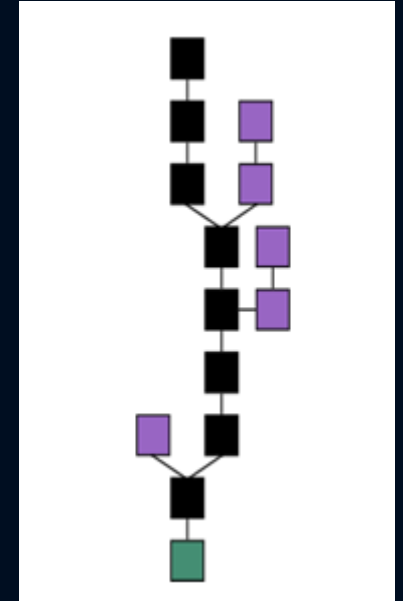
- По-перше, локальна система електропостачання підвищує стабільність енергосистеми. Центральні енергетичні об'єкти, такі як великі електростанції і високовольні лінії, можуть стати об'єктом військових атак, які призводять до масових відключень електроенергії. І навпаки, локальні системи не піддаються таким атакам, оскільки вони розподілені і можуть функціонувати автономно.
- По-друге, локальна система забезпечує автономію та децентралізацію. Це означає, що окремі населені пункти і регіони можуть забезпечувати себе засобами до існування незалежно від стану центральної енергетичної системи. У разі пошкодження центральної мережі місцева система може швидко відновити роботу і забезпечити безперебійне електропостачання.
- По-третє, місцеві системи електропостачання сприяють енергетичній безпеці за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції. Це знижує залежність від централізованих поставок палива, які можуть бути порушені під час конфліктів.
- Швидкість введення нових енергетичних потужностей дуже важлива в умовах війни. Локальні електричні системи можуть бути впроваджені набагато швидше, ніж великі центральні електростанції, і дозволяють швидко забезпечити електроенергією необхідні їм об'єкти.
- Нарешті, стабільне енергопостачання може сприяти підтримці соціальної стабільності, забезпечуючи роботу лікарень, систем водопостачання та інших життєвоважливих служб. Це особливо важливо для підтримки морального стану населення та задоволення основних потреб у складних ситуаціях.



Рисунок 2 – Рятувальники гасять полум'я на
Харківській ТЕС

ЩО ТАКЕ BLOCKCHAIN

- Про блокчейн можна сказати, що це такий спосіб записування інформації який унеможлиблює або ускладнює процес зміни системи, її злам або певні дії маніпуляції над ним. Його також називають «розподіленою книгою», адже він дублює та розподіляє транзакції по мережі комп'ютерів, що беруть участь у блокчейні. Сама технологія блокчейну є структурою, збереження публічних записів а також транзакцій, це зветься блоком. Ці блоки утворюють бази даних - «ланцюжок», у мережі, з'єднаних через однорангові вузли. Це сховище називають «цифровою книгою». Кожна транзакція яка була в цій книзі авторизується цифровим підписом власника, це робиться для того щоб засвідчити транзакцію та захистити її від підробки. Цей цифровий реєстр дещо схожий на електронну таблицю Google, адже її також використовують численні комп'ютери в мережі, у них зберігаються записи про транзакції на основі фактичних покупок. Тут можна виділити те що, данні знаходяться у відкритому доступі, їх може бачити будь-хто, але їх не можна пошкодити.



Чому був обраний саме блокчейн для впровадження у ЛЕС:

Вибір для впровадження блокчейна в ЛЕС був обумовлений такими факторами та перевагами :

- Децентралізація блокчейна. Блокчейн дозволяє розподіляти дані в базі даних між кількома вузлами мережі — комп'ютерами або пристроями, на яких працює програмне забезпечення для блокчейну — у різних місцях. Це не тільки створює надмірність, але й підтримує точність даних
- Прозорість блокчейну. Через децентралізовану природу блокчейну усі транзакції можна прозоро переглядати, маючи особистий вузол або використовуючи дослідники блокчейнів , які дозволяють будь-кому бачити транзакції, що відбуваються в реальному часі.
- Безпека. Технологія блокчейн забезпечує децентралізовану безпеку та довіру кількома способами. Почнемо з того, що нові блоки завжди зберігаються лінійно та хронологічно. Тобто вони завжди додаються в «кінець» блокчейну. Після додавання блоку в кінець блокчейну попередні блоки не можна змінити. Зміна в будь-яких даних змінює хеш блоку, у якому вони були. Оскільки кожен блок містить хеш попереднього блоку, зміна в одному призведе до зміни наступних блоків. Мережа відхилила б змінений блок, оскільки хеші не збігалися б.

Блокчейн можна використовувати для незмінного запису будь-якої кількості точок даних. Це може бути у формі транзакцій, голосів на виборах, інвентаризації, тощо.

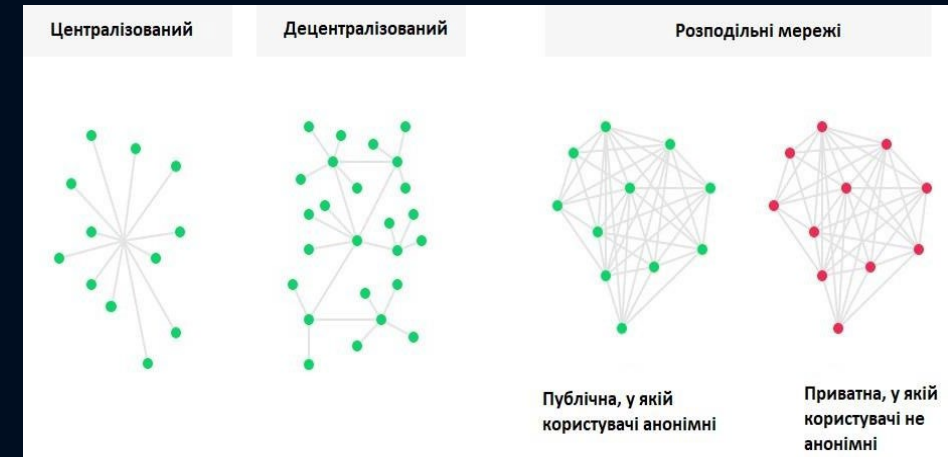


Рисунок 4 – Архітектура мережі blockchain

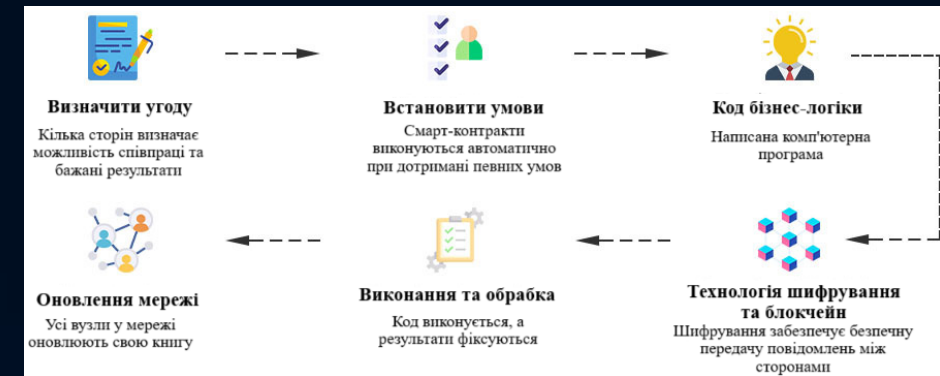


Рисунок 5 – Принцип роботи смарт-контрактів

ВИКОРИСТАННЯ BLOCKCHAIN ТЕХНОЛОГІЙ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

- Блокчейн може підтримувати ЛЕС кількома способами. Оскільки книга є незмінною, блокчейн-мережі спрощують точне відстеження даних про енергетичні транзакції та підтверджують точний час і послідовність певних продажів. Використовуючи блокчейн-платформи управління електроенергією, усі сторони мають більший контроль і видимість використання своєї енергії та можуть легко брати участь у транзакціях.
- Щоб полегшити енергетичні транзакції, користувачі можуть впроваджувати смарт-контракти в мережу блокчейн. Смарт-контракт — це набір правил, які визначають, коли може відбутися енергетична транзакція. Коли транзакція відповідає умовам смарт-контракту, блокчейн автоматично завершує продаж. Блокчейн може покращити енергетичну демократію та підтримати перехід споживачів у незалежних споживачів, які керують власними енергетичними ресурсами. Існує кілька видатних застосувань блокчейну в мікромережах, включаючи P2P торгівлю енергією, енергоефективність і віртуальні платформи управління
- P2P торгівля енергією є одним із найпопулярніших застосувань використання блокчейну в мікромережах. За централізованої енергетичної системи споживачі не мають доступу до переваг, навіть якщо їхня енергетична діяльність підтримує централізовану енергосистему. Комунальні компанії зазвичай є єдиними бенефіціарами енергетичних операцій.
- Трансактивні енергетичні системи, які працюють за допомогою мікромереж, зміщують цю централізовану систему. Споживачі виробляють власну енергію та продають надлишок своїм сусідам і в мережу, отримуючи при цьому компенсацію. Однак навігація в цих контрактах може бути дуже складною без потрібних інструментів. Ось тут може допомогти технологія блокчейн. Блокчейн може допомогти споживачам перевіряти, записувати та розраховувати транзакції з енергоресурсами в режимі реального часу для кількох розподілених енергетичних ресурсів. Використовуючи платформи керування віртуальними ресурсами, просумери можуть налаштувати правила смарт-контракту для автоматичного виконання цих транзакцій. Щоб зробити трансактивну енергію доступнішою, мікромережам потрібні віртуальні платформи керування електроенергією. Постачальники потребують уявлення про свої розподілені енергетичні ресурси, виробництво електроенергії та енергетичні транзакції. Споживачі також повинні відстежувати власне споживання енергії та визначати сфери ефективності.
- Блокчейн може допомогти у розробці віртуальних додатків, де як споживачі, так і споживачі можуть керувати своєю енергією. Використовуючи блокчейн-платформи, усі сторони мікромережі можуть отримувати безпечні оновлення даних про використання енергії в режимі реального часу. Користувачі Prosumers можуть налаштовувати розумні контракти без необхідності розуміти складні технологічні правила. Оскільки блокчейн-реєстри незмінні, ці платформи керування електроенергією забезпечують додатковий ступінь точності та надійності. Ніхто не може змінити або втручатися в енергетичну транзакцію, і всі сторони можуть використовувати ці платформи для відстеження та полегшення своїх транзакцій.
- Використовуючи блокчейн, споживачі отримують більш повне уявлення про споживання енергії. У результаті вони можуть впроваджувати зміни, щоб оптимізувати ресурси та зменшити свою залежність від централізованої електромережі. У системі мікромережі блокчейн-мережі можуть автоматично оцінювати рівні енергії з розподілених енергетичних ресурсів. Аналізуючи дані в режимі реального часу, ця технологія може полегшити ефективні транзакції та допомогти зменшити викиди вуглекислого газу спільнотами. Справді, тематичні дослідження показують, що запропонована система торгівлі P2P може заощаджувати 1465,9 г викидів вуглецю щодня.

Приклади використання в уже існуючих системах

Випадок використання: Бруклінська мікромережа

- Початок епохи використання технології блокчейн у мікромережах розпочався з проекту Brooklyn Microgrid, розробленого компанією LO3. В цьому проекті деякі місцеві жителі Брукліна, штат Нью-Йорк, США, здійснюють торгівлю енергією один з одним без посередників, використовуючи технологію блокчейн. Ця система працює у режимі P2P (peer-to-peer), що дозволяє мешканцям, які мають сонячні батареї на дахах своїх будинків, продавати надлишкову енергію своїм сусідам. Перша угода була укладена в квітні 2016 року і стала першою в світі енергетичною угодою, здійсненою за допомогою блокчейн. Початково проект використовував блокчейн Ethereum. Проте під час реалізації проекту виявлено, що Ethereum не вирішує проблеми масштабованості, тому було прийнято рішення перейти на приватний блокчейн. Структура системи описана на рисунку

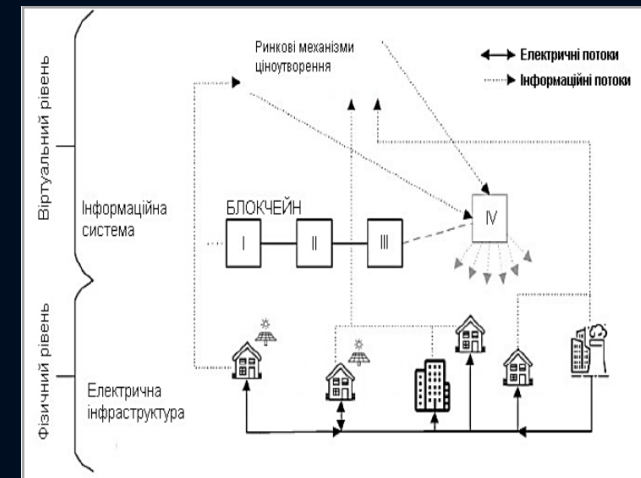


Рисунок 6 – Високорівнева структура Бруклінської мікромережі

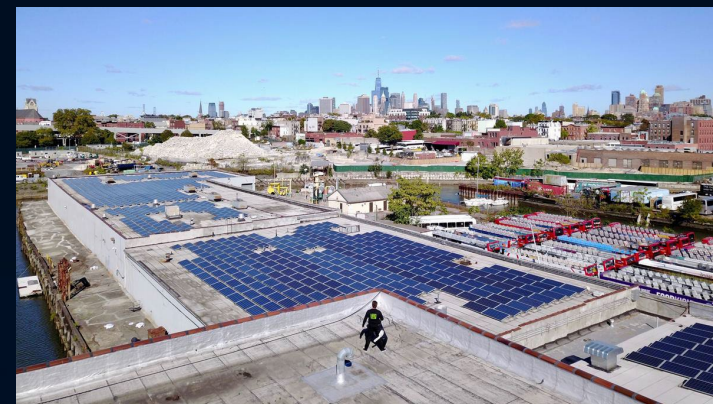


Рисунок 7 – Візуальне зображення Бруклінської мікромережі

Недоліки і проблеми впровадження блокчейну в ЛЕС

- Проблеми масштабованості: Блокчейн-мережам необхідно опрацьовувати величезні обсяги даних, і кількість транзакцій збільшується щодня. Для забезпечення постійного зростання кількості транзакцій, блокчейн-мережам потрібна висока масштабованість. Розробка масивної та високомасштабованої інфраструктури може бути складною та витратною.
- Регуляторна підтримка: Для впровадження блокчейну в мікромережах необхідні нові типи контрактів, нормативні акти та закони для регулювання розподілених енергетичних систем. Однак енергетичні компанії можуть не бути зацікавлені в радикальній переоцінці своєї діяльності та підтримці переходу до розподілених енергетичних систем. Прихильники блокчейн-мікросіток можуть стикатися з труднощами при спробах прийняти законодавство через опір промисловості.
- Побоювання щодо конфіденційності: Багато людей хвилюються через можливі проблеми з конфіденційністю при впровадженні блокчейну. У публічному блокчейні будь-хто може брати участь і переглядати дані транзакцій. Для компаній та інших приватних груп публічний блокчейн для енергетичних транзакцій може бути не найкращим рішенням. Приватні блокчейни обмежують доступ лише авторизованим користувачам і можуть задовольняти потреби конфіденційності цих підприємств.

Аналіз отриманих значень в розрахунку

- У практичному експерименті було розглянуто розрахунок ефективності для локальної електричної системи до впровадження блокчейну та після. У результаті було отримано такі значення(табл. 1). Проаналізувавши данні можна виділити як і позитивні так і негативні аспекти:

- Впровадження блокчейн технологій у локальну електричну систему призводить до:
- Збільшення капітальних витрат: на 1800000 UAH, або на 100%.
- Збільшення операційних витрат: на 36000 UAH/рік, або на 6.6%.
- Зменшення втрат електроенергії: з 48.675 кВт до 39.01 кВт, або на 19,9%.
- Підвищення ефективності системи: з 90.27% до 92.2%, на 1.93%.
- Зменшення втрат електроенергії за рік: на 17633.88 кВт·год, або на 20.34%.
- Збільшення річного доходу від продажу електроенергії: на 47611.48 UAH, або на 2.23%.
- Збільшення чистого річного доходу: на 11611.48 UAH, або на 0,72%.
- Збільшення терміну окупності: з 11.31 до 12.35 років, або на 1,04
- Додаткові данні:
- 1) Тип блокчейн мережі: консорціумна.
- 2) Безпека та надійність: 0 хакерських атак / 0 успішних атак.
- 3) Рівень прозорості та довіри значно покращиться.
- 4) Швидкість обробки транзакцій*: 1 сек
- 5) Підвищення точності обліку та розрахунків: 10%
- Отже, впровадження блокчейн технологій покращує загальну ефективність локальної електричної системи та знижує втрати електроенергії, але це супроводжується збільшенням як капітальних, так і операційних витрат, що призводить до збільшення терміну окупності.

Показник	До блокчейн	Після блокчейн
Капітальні витрати	18 000 000 UAH	19 800 000 UAH
Операційні витрати за рік	540 000 UAH/рік	576000 UAH/рік
Загальні втрати (кВт)	48.675 кВт	39.01 кВт
Ефективність системи (%)	90.27%	92.2%
Втрати електроенергії за рік	86662.68 кВт·год	69028.8 кВт·год
Корисна електроенергія за рік	789 337.32 кВт·год	806971 кВт·год
Річний дохід від продажу	2 131 210.76 UAH	2 178822.24 UAH
Чистий річний дохід	1 591 210.76 UAH	1 602822.24 UAH
Термін окупності	11.31 років	12.35 років

Таблиця 1 – Отримані результати

Висновки:

- У бакалаврській дипломній роботі було всебічно досліджено використання технології блокчейн в локальних електричних системах. Результати цього дослідження дозволяють зробити кілька важливих висновків щодо переваг та недоліків цього підходу, основних принципів його застосування, практичних прикладів та розрахунків ефективності.
- По-перше, технологія блокчейн демонструє великий потенціал у підвищенні ефективності та надійності місцевих електричних систем. Децентралізація управління знижує залежність від центральних регуляторів і підвищує стійкість системи до різних типів атак і збоїв. Прозорість і незмінність даних, що надаються за допомогою технології блокчейн, сприяє підвищенню довіри між учасниками енергетичного ринку і знижує ризик шахрайства і помилок при обліку споживання електроенергії.
- По-друге, безпека даних є однією з ключових переваг технології блокчейн. Механізми криптографічного захисту, що використовуються в блокчейні, забезпечують високий рівень захисту інформації від несанкціонованого доступу та змін. Це особливо важливо для забезпечення надійної роботи енергетичних систем в сучасних умовах кіберзагроз.
- Однак впровадження технології блокчейн пов'язане з труднощами. Одним з основних недоліків є висока початкова вартість розгортання та налаштування інфраструктури блокчейна. Ці витрати можуть бути значними, особливо в невеликих організаціях та регіонах, де фінансові ресурси обмежені. Крім того, деякі блокчейн-мережі, такі як блокчейн-мережі, що використовують узгоджені алгоритми перевірки працездатності, є енергоємними і можуть суперечити принципам енергозбереження.
- Складність інтеграції технології блокчейн в існуючі електричні системи також є ключовою проблемою. Цей процес вимагає високого рівня технічних знань і може зайняти значну кількість часу, який необхідно враховувати при плануванні впровадження.
- Практичні приклади, такі як Brooklyn Microgrid, демонструють реальні переваги використання технології блокчейн в місцевих електричних системах. Проект показує, як може бути успішно впроваджена децентралізована модель управління енергоспоживанням, що дозволяє учасникам ринку торгувати енергією без посередників, підвищуючи ефективність і знижуючи витрати.
- Проведені розрахунки ефективності впровадження технології блокчейн підтвердили економічну доцільність такого підходу в довгостроковій перспективі. Початкові витрати можуть бути високими, але з часом економія експлуатаційних витрат та підвищення ефективності управління енергією переважають витрати.
- Вцілому, технологія блокчейн володіє величезним потенціалом для поліпшення функціонування місцевих електричних систем. Це сприяє більшій прозорості, безпеці та ефективності в управлінні енергоспоживанням. Однак для успішного впровадження необхідно продовжити дослідження в цьому напрямку з урахуванням існуючих проблем, щоб максимально використовувати переваги даної технології і звести до мінімуму її недоліки.