

# РОЗДІЛ 1. КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

## ВИКОРИСТАННЯ «BLOCKCHAIN» ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Татусь Р.М., студент, Гулий В.С., асистент

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

**Вступ.** Оптимізація роботи енергосистем здебільшого передбачає використання технологій на основі збору та обробки ітераційними методами первинних та вторинних параметрів електроенергетичної мережі. Даний процес можна значно вдосконалити, використавши принципово нові технології, створені для роботи з даними.

**Мета роботи.** Провести порівняльний аналіз загальних результатів роботи існуючих методів оптимізації, що базуються на ітераційній обробці даних в центрах управління й моніторингу та методів з імплементацією у їх принципи структури «Blockchain». Дати оцінку доцільності запровадження технології в наявну систему методів.

**Матеріали і результати досліджень.** Технологія «BLOCKCHAIN» розвивається разом з обчислювальними методами. Особливу увагу науковців в сфері енергетики вона привернула протягом останніх років. Зокрема досліджують наступні напрямки майбутнього застосування технології в енергетиці:

- Оптимізація витрат: blockchain дозволяє зменшити витрати на операції та знизити вартість транзакцій у системі енергетики, завдяки автоматизації та ефективному управлінню даними.

- Децентралізоване управління: blockchain дозволяє створювати децентралізовані системи управління енергетичними ресурсами, що полегшує інтеграцію різних джерел енергії та споживачів в єдину мережу.

- Технічна сумісність з існуючими системами: blockchain може бути впроваджений в системах нинішнього управління ЕЕС через свою гнучкість та можливість інтеграції з існуючими технічними рішеннями [1].

Оптимізація роботи енергосистем вимагає використання різних підходів, зокрема – з проведенням моделювання, для забезпечення ефективного та надійного постачання електроенергії.

Було проаналізовано наступні групи технологій та методів оптимізації:

- Системи прогнозування споживання енергії: Використання аналітичних інструментів та моделей дозволяє прогнозувати споживання електроенергії в мережі.

- Системи енергетичного обліку і звітності: Ці системи дозволяють вимірювати споживання електроенергії в реальному часі та створювати звіти про енергоспоживання.

Можливості, які надають ці інструменти дозволяють більш ефективно розподіляти електроенергію від виробників між споживачами [2].

Прикладами цих узагальнених груп є:

- Системи керування дистанційного моніторингу і управління (SCADA): SCADA системи використовуються для нагляду за станом енергетичних об'єктів, вимірювання параметрів мережі та оптимізації виробництва електроенергії в режимі реального часу.

- Системи автоматизованого управління мережею (EMS): EMS системи використовуються для планування та управління виробництвом і розподілом електроенергії в мережі [3].

Проведений аналіз показав, що основними недоліками цих інструментів є:

- Погана база для машинного навчання.
- Залежність від централізованих потужностей обробки даних і їх вразливості;

- Низький рівень прозорості та доступності даних щодо споживання та генерації електроенергії окремих категорій чи конкретних споживачів. Що в результаті викликає недостатній рівень автоматизації процесів управління енергосистемою в реальному часі [4].

З використанням технології «Blockchain» вже існуючі інструменти отримають нові можливості.

- Обробка даних та їх занесення в реєстр виконуватимуться прямо на місці, де показники знімаються, це дозволить реалізувати механізм децентралізації управління.

- Застосування більш точної технології збору та обробки даних дозволить виконувати та зберігати кожен транзакцію з кожним учасником енергосистеми. В результаті збільшиться прозорість її роботи.

- З новими можливостями система управління дозволить збільшити рівень автоматизації та безпеки одночасно.

Оптимізація режимів роботи енергосистеми дозволяє підвищити економічні та екологічні показники [5]:

- Регулювання реактивної потужності дозволяє оптимізувати роботу енергосистеми, що призводить до зменшення втрат активної потужності в електромережах. Що дозволяє знизити витрати підприємств та споживачів електроенергії на оплату зайвої електроенергії.

- Зменшення втрат дозволяє підвищити ефективність виробництва товарів та послуг, що обумовить зниження вартості продукції та підвищить конкурентоспроможність підприємств.

- Зменшення втрат активної потужності веде до зменшення виробництва зайвої електроенергії, що в свою чергу знижує викиди вуглекислого газу і інших забруднюючих речовин у атмосферу [6].

В наявних системах моніторингу та управління наявні певні механізми оптимізації енергосистеми за допомогою регулювання реактивної потужності. Зокрема втрати активної потужності розраховуються з отриманих відповідними датчиками параметрів за формулою (1) [7]:

$$P_{в(п)} = P_{в(т)} \cdot \varepsilon \quad (1)$$

$$P_{B(\Pi)} = (I^2 \cdot R \cdot \sin(\theta))$$

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{P_i - \langle P_i \rangle}{n - 1} + \sigma$$

де:  $P_{B(\Pi)}$  – втрати активної потужності (практичні), Вт;  $P_{B(T)}$  – втрати активної потужності (теоретичні), Вт;  $I$  – сума струмів ділянки, А;  $R$  – сума опорів ділянки, Ом;  $\theta$  – кут зсуву фаз між струмом та напругою (синус кута зсуву фаз);  $\varepsilon$  – похибка вимірювання реактивної потужності  $n$  – кількість вимірів,  $\sigma$  – методологічна похибка;

Похибка  $\varepsilon$ , що виникає при роботі наявних систем залежить від середньоквадратичної похибки, довірчого інтервалу та методологічної похибки  $\sigma$ . Похибка в методах регуляції реактивної потужності в системі може виникати з багатьох причин, зокрема:

- Втрати сигналу або збої в мережі зв'язку між датчиками та системою можуть спричинити неправильний збір даних про реактивну потужність.
- Помилки у програмному забезпеченні чи апаратному забезпеченні системи можуть призвести до неправильного розрахунку реактивної потужності [8].

У випадку впровадження технології blockchain у відповідні системи, відбудуться наступні зміни та впливи:

- Децентралізація Даних: blockchain дозволяє зберігати дані децентралізовано, забезпечуючи їхню цілісність та незмінність. Це може усунути можливість внесення помилкової інформації в систему, що підвищить надійність даних для розрахунків.
- Спрощений обмін даними: blockchain може полегшити обмін даними між різними підсистемами, що забезпечить швидший та ефективніший облік потужності та її втрат.
- Автоматизація Розрахунків: Смарт-контракти в blockchain можуть допомогти в уникненні помилок та сприяти точнішим розрахункам втрат.

Використання технології blockchain для створення децентралізованих систем виробництва та обліку енергії підвищує ефективність, безпеку та можливість обміну енергією між виробниками та споживачами [8].

З проведених досліджень [7] наведені пункти відповідають за величину похибки розрахунку втрат активною потужності та формування моделей компенсації реактивної потужності на основі даних попередніх періодів. Для реалізації переваг і покращень на практиці потрібно розробити випробувати і впровадити в існуючі системи програмний протокол з такою загальною будовою:

- Блоки: Основна одиниця даних, яка зберігає інформацію в blockchain. Кожен блок містить кілька транзакцій і метадані.
- Хеш-функції: Використовуються для створення унікального ідентифікатора (хешу) для кожного блоку, що гарантує його непорушність.
- Мережа вузлів: Децентралізована мережа комп'ютерів (вузлів), які спільно управляють blockchain та перевіряють транзакції.

- Криптографічні ключі: Використовуються для забезпечення безпеки та автентифікації користувачів, а також для підписування та перевірки транзакцій.
- Консенсус-протоколи: Механізми, які дозволяють вузлам узгоджуватися про стан blockchain і перевіряти нові блоки. Приклади: Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), Delegated Proof of Stake (DPoS) і т. д.
- Смарт-контракти: Програми, які запускаються автоматично при виконанні певних умов та контролюють виконання транзакцій [9].

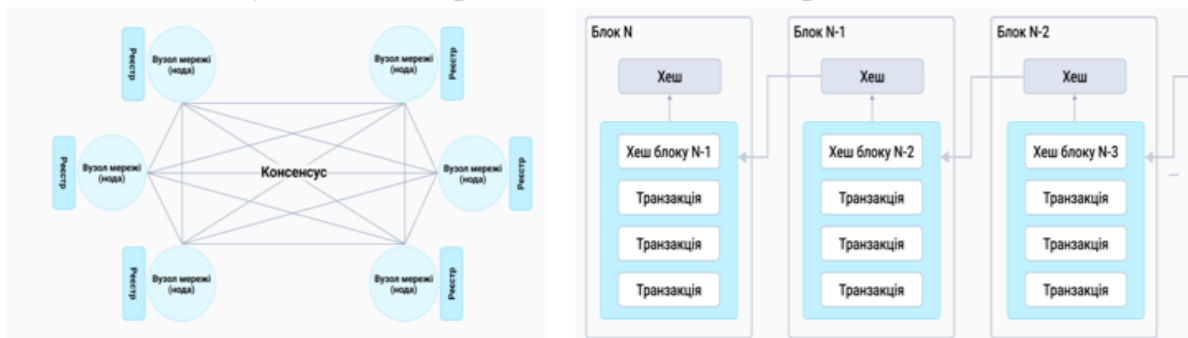


Рисунок 1 – Загальна структура розподіленого реєстру та організація блоків

**Висновки.** Аналіз використання технології blockchain при оптимізації роботи енергосистем показав, що технологія blockchain в задачах оптимізації роботи енергосистеми може бути використана у вже існуючих системах управління, що дозволить покращити екологічні та економічні показники енергосистеми та надійність її роботи. Завдяки впровадженню нових підходів оптимізації режимів роботи та децентралізації. Даний підхід вимагає проведення додаткових досліджень та аналізу.

#### Перелік посилань:

1. Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P. and Peacock, A., 2019. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and sustainable energy reviews*, 100, pp.143-174.
2. Kulkarni, N., Lalitha, S.V.N.L. and Deokar, S.A., 2019. Real time control and monitoring of grid power systems using cloud computing. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 9(2), pp.941-949.
3. Neis, P., Wehrmeister, M.A., Mendes, M.F. and Pesente, J.R., 2023. Applying a model-driven approach to the development of power plant SCADA/EMS software. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 153, p.109336.
4. Ibrahim, M.S., Dong, W. and Yang, Q., 2020. Machine learning driven smart electric power systems: Current trends and new perspectives. *Applied Energy*, 272, p.115237.
5. Ren, H., Zhou, W., Nakagami, K.I., Gao, W. and Wu, Q., 2010. Multi-objective optimization for the operation of distributed energy systems considering economic and environmental aspects. *Applied Energy*, 87(12), pp.3642-3651.
6. Healy, N. and Barry, J., 2017. Politicizing energy justice and energy system transitions: Fossil fuel divestment and a “just transition”. *Energy policy*, 108, pp.451-459.
7. Denysiuk, S., Opryshko, V. and Strzelecki, R., 2016. The smart grid concept implementation by expanding the use of demand side management and modern power electronic installations. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, (4), pp.7-16.
8. Rahim, S. and Siano, P., 2022. A survey and comparison of leading-edge uncertainty handling methods for power grid modernization. *Expert Systems with Applications*, 204, p.117590.
9. Ismail, L. and Materwala, H., 2019. A review of blockchain architecture and consensus protocols: Use cases, challenges, and solutions. *Symmetry*, 11(10), p.1198.