

## ЗАДАЧІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МІКРОМЕРЕЖ

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

### Вступ

З розвитком технологій генерації електроенергії, які пов'язані з нетрадиційними джерелами енергії, а з відновлювальними, такими, як сонячна, вітрова, тощо, стає можливим побудова локальних електричних мереж, які обмежені територіально, рамками, наприклад, невеликого житлового кооперативу. Реагуючі на збільшення тарифів, виникає бажання відокремитись від об'єднаної електричної мережі і використати більш дешеві засоби генерації. Такі тенденції є, наприклад, у Німеччині та Данії, де місцева генерація належить не великим компаніям, а місцевим громадам, кооперативам та приватними особами, тому локальні виробники електроенергії наросили виробництво і загрожують великим компаніям. І ця тенденція поширюється.

Мікромережа є локальною енергосистемою, яка може або не може бути підключена до електричної системи країни. Мікромережа може працювати як додаток до головної енергосистеми, або працювати самостійно і функціонувати в автономному режимі. Визначення мікромереж надано в [6]: «Microgrid - це група взаємозалежних навантажень і розподілених енергоресурсів межах чітко визначених електричних границь, що діє як єдиний керований об'єкт відносно основної електричної мережі». Спрощена структура мікромережі представлена на рис.1.

Мікромережі, як правило, містять відновлювальні джерела енергії, такі як вітрогенератори, малі гідроенератори та фотоелектричні сонячні батареї, які групуються разом. Мікромережі можуть також мати в своєму складі генератори і батареї для забезпечення надійності в

мережі. Якщо зблизити виробництво та використання електроенергії, то підвищимо ефективність електричної системи, зменшивши втрати передач [2].

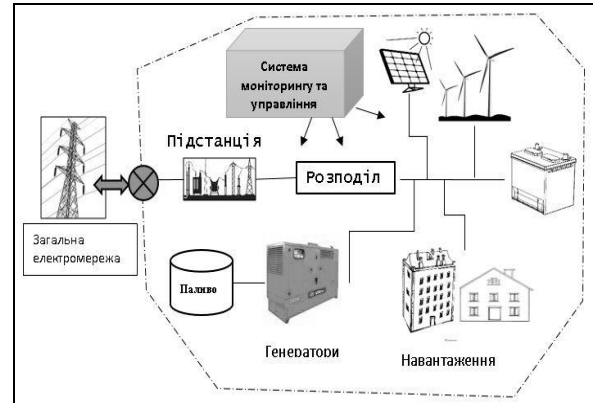


Рис.1 Мікромережа – концептуальний рівень абстракції.

Ключовою перевагою мікромережі є здатність бути самодостатньою в разі виникнення надзвичайних ситуацій, що викликають відключення. Від'єднавшись від головної мережі та працюючи в автономному режимі, мікромережа може працювати протягом декількох днів без будь-якого підключення до головної мережі. Повністю автономний режим забезпечити на даний час складно, бо не вистачає для цього, як правило, ресурсів енергогенерації.

### Опис проблеми

У такій обмеженій електричній системі - мікромережі, присутні декілька типів об'єктів. По-перше, присутні генеруючі потужності, наприклад, дизель-генератори. По-друге, є об'єкти, які тільки споживають електроенергію. По-третє, є об'єкти які не тільки споживають, але і виробляють електроенергію, наприклад, на основі сонячних панелей або вітрових турбін. Четвертий тип об'єктів складають накопичувачі електроенергії, які спочатку акумулюють ене-

ргію, а потім, в час пікових навантажень, віддають в мережу. Особливість є те, що у кожного об'єкта є свій власник.

Виробники електроенергії можуть часом виробляти більше енергії, ніж вони самі використовують на даний момент, і продавати цю надлишкову енергію сусідові, якому це потрібно. У просунутому рішенні можна уявити, що у споживачів є акумулятори, які вони можуть вибрати для зарядки, а не про продаж енергії. Таким чином, в рамках мережі для ефективного управління процесами в мікромережі, потрібно організувати мікроринок, відносини в якому мають бути регламентовані і спрямовані на вирішення проблем як технологічного, так і юридичного характеру. Тому організація децентралізованої системи управління з елементами автоматизації процесу є перспективною технологією для вирішення питань генерації та розподілу електроенергії в рамках мікромережі. Створювати таку систему можна з використанням технології блокчейн, що дає високу ступінь довіри в вирішенні питань взаємовідносин, захищеність від зловмисників, відсутність додаткових витрат на присутність посередників для виконання операцій.

Моделі організації управління енергетикою тих країн, в яких діють механізми енергоринку, побудовані на врахуванні особливостей типового поведінки його учасників, серед яких основними є генеруючі (G), передаючі (T) і розподіляючі (D) компанії, а також споживачі (C). Відносини в енергоринку між його учасниками  $G + T + D + C$  формуються шляхом обліку типової специфіки їх поведінки, яке регламентується правилами ринку.

У разі формування мікромережі очікується масова поява учасників ринку нового типу (G/C), здатних в одній особі виступати гравцями типу G в одні періоди часу, і типу C - в інші періоди часу. Позначимо такі періоди через  $t_G$  і  $t_C$ .

Зауважимо, що до гравців G/C відносяться домогосподарства, що володі-

ють системою в складі генератор-акумулятор-навантаження під власним керуванням (M). Крім того, в мікромережах присутність компаній типу T є зайвим. Таким чином в рамках мікромереж потенційно взаємодіють учасники G-D-C-G/C. Принциповою особливістю такої структури учасників ринку є її нестабільність: кількість гравців споживають і виробляють електроенергію непередбачувано змінюється. Ця ринкова реальність вимагає спеціального дослідження.

Якщо дії гравців типу G/C не регламентовані у часі, то періоди  $t_G$  і  $t_C$  їх взаємодії з ринком представляються параметрами, якими обов'язково будуть використані такими гравцем у власних системах M для досягнення максимальної вигоди. Очікується в таких умовах поява особливостей поведінки гравців G/C, які інтенсивно використовують переходи між періодами  $t_G$  і  $t_C$  своєї ризикотипної присутності в мікромережі.

Реалізація на технології блокчейн системи управління дозволить вирішити проблеми взаємовідносин гравців на ринку електроенергії. Але і тут потрібно вирішити низку питань, як концептуального характеру, так і на рівні реалізації.

Зокрема до концептуальних відносяться такі питання:

- Оскільки блокчейн реалізується в умовах власної синхронізації, то проблема вибору таких періодів синхронізації може бути вельми актуальною з урахуванням маніпуляцій періодами  $t_G$  і  $t_C$ , вироблених гравцем типу G/C.
- Механізми ринкового управління в мікромережі і в зовнішній великій енергетичній системі слід розглядати у взаємозв'язку, що необхідно враховувати при виробленні вимог до блокчейну.

### **Технологія блокчейн**

Блокчейн - це технологія, яка надає хронологічні записи транзакцій, що виконуються користувачами загальнодоступної мережі в базі даних, яка крипто-

графічно захищена[2]. Ця база транзакцій є реплікованою і зберігається на кожному вузлі. В термінах мікромережі, вузол – це окремий суб'єкт мікромережі, що виробляє чи споживає електроенергію. Вузли можуть вільно підключатися до загальнодоступної мережі будь-яким користувачем. Право робити кожен новий запис частини зроблених транзакцій (так званий «блок») отримується одним з підключених вузлів кожен раз, коли вузол вирішує математичну задачу підтвердження транзакції. За цим алгоритмом забезпечується непередбачуваність вибору вузла, що забезпечує функціонування на принципах децентралізації. Це перешкоджає створенню монополії управління, зокрема, в мікромережі.

Технологія блокчейн може бути використана для створення програмної системи управління відносинами всередині мікросередовища і виконуватиме наступні завдання:

- автентифікація інтелектуальних лічильників, які реєструють дані про вироблену та спожиту електроенергію та передають її в блокчейн;

- кожен інтелектуальний лічильник має власний гаманець - адреса в блокчейн, який є відкритим ключем сертифіката; приватний ключ - це ключ для доступу до гаманця, а також, портфель, який зберігає інформацію про вироблену та спожиту енергію та показує поточний запас енергії;

- здійснювати однорангову транзакцію суб'єкту мікромережиз іншим учасником мікросередовища, використовуючи гаманець. Віртуальна валюта надає еквіваленти обсягів і дозволяє вільні ринкові ціни;

- вільний ринок у формі фондової біржі дозволяє користувачам укладати угоди на купівлю-продаж електроенергії безпосередньо один з одним;

- угоди на ринку здійснюються у вигляді самостійно виконаних контрактів, також відомих як «інтелектуальні

контракти», що забезпечує автоматизацію обліку та платежів;

- ті споживачі, які споживають заплановані обсяги енергоспоживання, знижують витрати на електроенергію і навпаки, ті, хто перекупує електроенергію, платять додаткові гроші;

- підключення до центральної енергосистеми та резервний запас дозволяє покрити втрати під час надзвичайної ситуації та компенсувати мінливість відновлюваних джерел енергії.

### **Приклади реалізації управління в мікромережі на основі блокчейн**

Brooklyn Microgrid. Ера використання технології блокчейн для мікромереж почалася з проекту Brooklyn Microgrid, який створено компанією LO3, де деякі приватні особи, що проживають локально в Брукліні, Нью-Йорк, США, займаються торгівлею енергією між собою [3]. Це робиться в режимі P2P, через блокчейн, тим самим видаляючи посередника. Мешканці, які встановили сонячні батареї на своїх дахах, можуть продати будь-яку надлишкову енергію своїм сусідам. Перша угода відбулася в квітні 2016 року і є першою в світі енергетичною угодою, здійсненою на блокчейн. Компанія почала працювати з блокчейн Ethereum [4, 5]. Протягом реалізації проекту стало зрозумілим, що Ethereum не вирішує проблеми масштабованості, і було прийняте рішення зробити приватний блокчейн [6]. Високорівнева структура системи наведена на рис.2.

Кожен учасник проекту має встановлений лічильник, який є досить складним пристроєм з відповідною обчислювальною потужністю. Крім того, що вони вимірюють виробництво та споживання енергії, ці лічильники є інтелектуальними пристроями, які спілкуються один з одним і іншими інтелектуальними пристроями. Операції з кожного лічильника зберігаються в блокчейні, а всі лічильники забезпечують обчислюваль

ну потужність, необхідну для формування блокчейна і перевірки операцій [4].

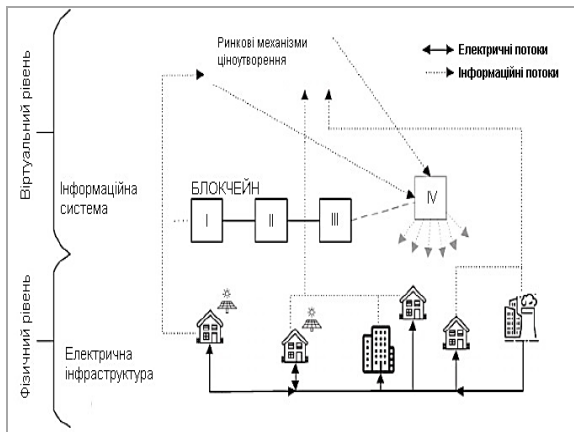


Рис.2. Високорівнева структура Бруклінської мікромережі

NRGcoin. Інший проект, оснований на використанні криптовалюти, має назву NRGcoin [7]. Пропонується використовувати криптовалюту вироблену на основі енергії, використовуючи програмну платформу, яка базується на розумних контрактах (smartcontracts). Ця програмна платформа інтелектуальних контрактів заснована на блокчейні Ethereum. Один NRGcoin еквівалентний одному кВт-год, незалежно від роздрібної вартості електроенергії. Ключовою відмінністю в цій платформі є те, що енергія повинна вироблятися відновлюваними джерелами енергії та споживатися на місці. Платформа інтелектуальних контрактів використовується для обробки та виплати за всіма платами та податками в мережі розповсюдження енергії. Така ж система відповідає за підтвердження звітування про виробництво енергії місцевими клієнтами, які не тільки споживають, але й виробляють енергію - просюмери.

Під час фази верифікації перевіряється, чи споживається енергія локально. Якщо перевірка є успішною, просюмер отримує винагороду в NRGcoins, які можуть бути використані для оплати майбутнього зеленого споживання енергії або для продажу на валютному ринку. Тому надлишок пропозиції в локальному просторі не винагороджується. На

валютному ринку споживачі можуть придбати NRGcoins для оплати зеленої енергії. Таким чином, вони платять один NRGcoin за 1 кВт-год. Підтримуються всі види відновлюваної енергії, а не тільки сонячна енергія. Для роботи NRGcoin необхідні смартлічильники, які вимірюють потоки електроенергії та зв'язуються з системою інтелектуальних контрактів та ринком обміну.

Проектів, які використовують блокчейн технологію, є достатньо багато і використовуються для різних задач енергетики.

## Висновки

Організація мікромереж як основи децентралізованих автономних енергетичних систем є перспективною для локальних об'єктів типу селища, котеджного містечка, тощо. Застосування розумних-технологій для такого типу енергомереж не потребує значного державного регулювання та державного втручання. Всі питання децентралізованого управління вирішуються на рівні мікроринку, побудованому при застосуванні суто програмних алгоритмів, які виконуються комп'ютерами в межах відкритих інфомереж, доступних гравцям мікроринку.

Модель управління мікромережею, яка основана на блокчейн, є прикладом децентралізованої автономної організації, де задані самоконтрольовані правила, що виконуються комп'ютерами. Це дозволяє суб'єктам мікромережі співпрацювати без необхідності довіряти будь-кому делегувати повноваження для управління процесом. Ця концепція взагалі відповідає ідеї «горизонтальної» енергії.

## Література

1. Ernie Hayden. Introduction to Microgrids [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dokumen.tips/documents/introduction-to-microgrids-securicon-20131.html> (доступ 28.06.2019)

2. O.I. Konashevych. Advantages and Current Issues of Blockchain Use in Microgrids. / O.I. Konashevych // Electronic Modeling – 2016. – Vol. 38, No. 2. – pp. 93–103.
3. Brooklyn Microgrid [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://brooklynmicrogrid.com/>.
4. Urszula Papajak. Can the Brooklyn Microgrid project revolutionize the energy market? / Urszula Papajak // Medium (Nov. 2017) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medium.com/thebeammagazine/can-the-brooklyn-microgrid-project-revolutionise-the-energy-market-ae2c13ec0341>.
5. Clinton Nguyen. Brooklyn’s ‘Microgrid’ Did Its First Solar Energy Sale” / Clinton Nguyen // Motherboard, Vice (Apr. 2016) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://motherboard.vice.com/en\\_us/article/d7y7n7/transactive-grid-ethereum-brooklyn-microgrid](https://motherboard.vice.com/en_us/article/d7y7n7/transactive-grid-ethereum-brooklyn-microgrid). (доступ 28.06.2019)
6. Esther Mengelkamp et al. Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. / Esther Mengelkamp et al // Applied Energy 210. – 2017. – pp. 870–880. ISSN 0306-2619.
7. M. Mihaylov. A Blockchain-based Reward Mechanism for Both Production and Consumption of Renewable Energy / M. Mihaylov, I. Razo-Zapata, and A. Nowé, NRGcoin // Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains, ISBN: 978-0128144473, Elsevier. – 2018.

**Чемерис О.А., д-р техн. наук**

#### **ЗАДАЧІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МІКРОМЕРЕЖ**

*Розвиток електроенергетичних систем спрямовано на рішення питань оптимізації роботи. На системному рівні оптимізація спрямована на побудову мікромереж, які є локальними енергосистемами. Ключовою перевагою мікромережі є здатність бути самодостатньою в разі виникнення надзвичайних ситуацій, що викликають відключення. У такій локальній електричній системі - мікромережі, присутні декілька типів об'єктів. По-перше, присутні генеруючі потужності, наприклад, дизель-генератори. По-друге, є об'єкти, які тільки споживають електроенергію. По-третє, є об'єкти які не тільки споживають, але і виробляють електроенергію, наприклад, на основі сонячних панелей або вітрових турбін. Четвертий тип об'єктів складають накопичувачі електроенергії, які спочатку акумулюють енергію, а потім, в час пікових навантажень, віддають в мережу. Особливість є те, що у кожного об'єкта є свій власник. Виробники електроенергії можуть часом виробляти більше енергії, ніж вони самі використовують на даний момент, і продавати цю надлишкову енергію сусідові, якому це потрібно. Таким чином, в мікромережі складається економічний мініринок з відповідними учасниками та власними інтересами. Управління таким енергетичним комплексом можна покласти на автоматизовану інформаційну систему, побудовану на основі технології блокчейн. В статті розглянута можливість використання блокчейн технології для управління електроенергетичними мікромережами. Наведено задачі, які ефективно можна вирішувати за допомогою технології блокчейн. Сформульовано проблеми, які потрібно ще вирішувати. Надано приклади використання блокчейн в мікромережах.*

**Ключові слова:** мікромережа, блокчейн, децентралізована система управління, електричний мікроринок.

**Alexander Chemeris, D.Sc**

## **TASKS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR ELECTRIC MICROGRIDS**

*The development of electric power systems is forwarded to find the solution of their work optimization. At the system level, the optimization is directed at building microgrids, which are local power systems. The key advantage of microgrids is the ability to be self-sufficient in case of emergencies that cause shutdown. In such a local electrical system - microgrid, there are several types of objects. First, there are generating capacities, such as diesel generators. Secondly, there are objects that only consume electricity. Third, there are objects that not only consume, but also produce electricity, for example, based on solar panels or wind turbines. The fourth type of objects are the storages of energy, which initially accumulates energy, and then, during peak load times, deliver it to the network. A feature of such system is that each object has its owner. Electricity makers can sometimes produce more energy than they currently use and sell this excess energy to a neighbor who needs it. Thus, the microgrid consists of an economic mini-market with the relevant participants and their own interests. Management of such the energy complex may be put on an automated information system built on the basis of the blockchain technology. The article considers the possibility of using blockchain technology to control microelectric power networks. The problems that can be effectively solved with the help of blockchain technology are presented. Problems to be solved are formulated. Examples of using blockchain in microgrids are given.*

**Keywords:** microgrid, blockchain, decentralized control system, electrical micromarket.