

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

PRICING FOR A BALANCING MARKET IN THE ENERGY SECTOR

ЦІНОУТВОРЕННЯ ДЛЯ БАЛАНСУЮЧОГО РИНКУ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Oleksandr Kushnir¹

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-536-5-32>

В сучасних умовах енергетичних систем є актуальною задача забезпечення балансування ринку електроенергії. Балансуючий ринок відіграє ключову роль у підтриманні стабільності та надійності електропостачання, оскільки дозволяє урівноважувати попит і пропозицію в режимі реального часу. Рішення такої задачі забезпечує ефективне функціонування енергетичних систем, мінімізує ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищує якість надання електричних послуг споживачам.

Досвід 1989–1990 років Сполученого Королівства Великої Британії та Північної Ірландії може показати можливі шляхи рішення проблем балансування. За наявності фактичного зростання частки атомної генерації та великого обсягу теплової (вугільної) генерації у Сполученому Королівстві приділяли увагу проблемі надлишкової потужності вночі та надмірного пікового попиту вдень. Рішення на той час полягало в побудові насосних систем акумуляції та застосуванню дешевих тарифів на нічне електричне споживання. Таке рішення було високовартісним, але в достатній мірі стабільним й прогнозованим з точки зору балансування енергомережі [1, с. 1].

Варто зауважити, що Україна має схожу проблему балансування при значно більшій частці атомної генерації, а крім того значні проблеми безпеки. З точки зору зменшення витрат держави є актуальною проблематика залучення бізнесу до процесів акумуляції щодо балансування. Така задача вимагає створення сприятливих умов для отримання прибутку власниками систем та засобів акумуляції енергетичної потужності. З огляду на потреби держави за умов

¹ V.M. Glushkov Institute of Cybernetics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

підвищення безпеки енергомереж, необхідно залучати велику кількість малих систем акумуляції і генерації для безпеки функціонування енергосистеми, що дає перевагу над невеликою кількістю більш потужних систем акумуляції. Такий підхід є актуальним для формування більш стійкої до зовнішніх впливів (і як наслідок більш безпечної) розподіленої енергомережі.

Варто зауважити, що в результаті такого підходу до балансування у Сполученому Королівстві виникли проблеми монополізації, що негативно відобразилось на ринку електроенергії й призвело до росту тарифів, зменшення прозорості ринку та ускладнення із залученням нових підприємств [1, с. 5].

Враховуючи вказані фактори можна зробити припущення, що ринково-обґрунтовані механізми, які будуть максимізувати прибуток власників систем акумуляції електроенергії незалежно від їх розміру, можуть залучити більшу кількість учасників до ринку та відповідно збільшити обсяг стабільних джерел електроенергії для балансування споживання. З ринкової точки зору є доцільним розглядати використання акумуляторів, як опосередковану форму арбітражу на ринку електроенергії. Найбільш сприятливим в такому випадку є створення автоматизованої біржі балансування – аукціону. Враховуючи наявний на ринку попит, вигідним для власників акумуляції, зручним для споживачів та ускладнюючим появу монополій може бути механізм аукціону закритих ставок другої ціни (Вікрі-Кларка-Гровса) [2, с. 164] або ж аукціону закритих ставок першої ціни, які відбувається в один раунд і використовуються в інтернет-рекламі. Варто зазначити, що учасники аукціону не знають ставок один одного, та вибирають ту ціну, яку готові сплатити, що унеможливорює маніпуляції з цінами. Основна відмінність такого механізму аукціону для балансування від діючого в Україні в тому, що він може дозволити автоматизовану купівлю й продаж в режимі реального часу та покращити функціонування ринкових механізмів при цьому зменшивши навантаження на регулятора.

Розглядається така узагальнена модель для взаємодій на балансуєчому ринку електроенергії з використанням механізму аукціону. Нехай $SU = \{su_1, su_2, \dots, su_n\}$ – множина власників систем акумуляції, що продають акумуляовану електроенергію на біржі, а $DE = \{de_1, de_2, \dots, de_m\}$ – множина споживачів, що відповідно бажають придбати електроенергію. Тоді розміщена кожним власником систем акумуляції пропозиція продажу електроенергії $E^{su_i} = (v^{su_i}, b_{min}^{su_i}), i = 1, \dots, n$, де v^{su_i} – об'єм або кількість електроенергії в квт., що пропонуються для продажу власником su_i , а $b_{min}^{su_i}$ – ціна однієї квт./год. Споживачі відповідно розміщують заявку на

купівлю $C^{dej} = (v^{dej}, b^{dej})$, де v^{dej} – бажаний обсяг споживання dej в квт., а b^{dej} – ціна однієї квт./год, яку готовий сплатити споживач. Припускається, що організатору біржі відомо де знаходяться як споживач, так і власник акумуляції й він може точно визначити власників акумуляції які знаходяться поблизу від споживача dej , який розмістив заявку C^{dej} . Таких власників систем акумуляції можна визначити, як множину $SU_{dej} \subset SU$. Біржова взаємодія споживачів та власників систем акумуляції може відбуватись за алгоритмом:

0) Визначаються наступні множини: S – як множина всіх розміщених заявок C^{dej} , E – як множина всіх розміщених на біржі пропозицій E^{su_i} , а $E^{SU_{dej}}$ – як множина всіх розміщених на біржі пропозицій від власників систем акумуляції з множини SU_{dej} ;

1) $\forall SU_{dej}, j = \overline{1, \dots, |DE|}$ знаходиться $su_i \in SU_{dej}: b_{min}^{su_i} = \min(B_{min}^{SU_{dej}})$, де $B_{min}^{SU_{dej}}$ – множина цін $b_{min}^{su_i}$ зі всіх пропозицій множини $E^{SU_{dej}}$;

2) $\forall C^{dej}, j = \overline{1, \dots, |DE|}$, порівнюється $b_{min}^{su_i} + o_{fee}$ з b^{dej} , де o_{fee} – це комісія за транспортування й обслуговування мережі;

2.1) Якщо $b_{min}^{su_i} + o_{fee} > b^{dej}$, то заявка на купівлю не буде оброблена доки будь яким власником акумуляції з SU_{dej} не буде розміщена нова пропозиція, тобто в множину $E^{SU_{dej}}$ не буде додано новий елемент, такий що $b_{min}^{su_i} + o_{fee} \leq b^{dej}$, або ж споживач dej не змінить ціну b^{dej} в своїй заявці C^{dej} так, щоб виконувалась аналогічна умова;

2.2) Якщо $b_{min}^{su_i} + o_{fee} \leq b^{dej}$, то споживач dej – бере участь в аукціоні, де в якості лоту виступає можливість придбати електроенергію у власника su_i по пропозиції E^{su_i} ;

3) Механізм роботи аукціону:

Всі dej , що бере участь в аукціоні за електроенергію розміщену на продаж пропозицією E^{su_i} , b^{dej} вважається ставкою учасника, а B – множиною цих ставок, в аукціоні обирається переможець de_k : $b^{de_k} = \max(B)$. Переможець аукціону – купує електроенергію, сплачуючи $\max(B)$ у випадку аукціону першої ціни або ж $\max(B \setminus \max(B))$ у випадку аукціону другої ціни (тобто ціну другої ставки після максимальної). Заявки інших учасників аукціону залишаються в множинах E та $E^{SU_{dej}}$;

4) Визначається гіпотетичний залишок від обсягу електроенергії, який зазначено в пропозиції $v_{new}^{su_i} = v^{su_i} - v^{dej}$;

4.1) Якщо $v_{new}^{su_i} < 0$, то пропозиція E^{su_i} вважається виконаною, $E = E \setminus \{E^{su_i}\}$, а $C^{dej} = (v^{dej} - v^{su_i}, b^{dej})$;

4.2) Якщо $v_{new}^{su_i} > 0$, то $E^{su_i} = (v_{new}^{su_i}, b_{min}^{su_i})$, $C = C \setminus C^{dej}$, а заявка C^{dej} вважається задовільненою;

4.3) Якщо $v_{new}^{su_i} = 0$, то пропозиція E^{su_i} вважається виконаною, $E = E \setminus \{E^{su_i}\}$, а заявка C^{dej} вважається задовільненою, $C = C \setminus C^{dej}$;

5) Алгоритм виконується з кроку (1);

Таким чином у випадку дефіциту пропозиції механізм аукціону буде стимулювати споживачів підвищувати ціну яку вони готові сплатити за кіловат, а високі ціни будуть стимулювати інвестиції в акумуляцію й відповідно збільшення кількості власників акумуляції та її загально обсягу, що в свою чергу має призвести до зменшення дефіциту й відповідно стабілізації цін. При відсутності дефіциту механізм вибору заявок може стимулювати зниження цін на акумульовану електроенергію, оскільки власник ризикує не отримати споживачів розміщуючи пропозицію по завищеним цінам.

Список використаних джерел:

1. Newbery D., Strengths and weaknesses of the British market model, *Handbook on Electricity Markets*, 2021, 27 p. DOI: 10.4337/9781788979955.00012
2. Гавриленко С., Кушнір О., Пустовойт М., Модель аукціону реклами в пошукових системах та результати її впровадження, *1 міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології: результати і перспективи»*, 2024, С. 164–166. URL: https://ist.fit.knu.ua/_files/ugd/016074_8fc56cebbfa94cde874eedd872f3780e.pdf