

ЗНИЖЕННЯ МАРЖИНАЛЬНИХ ЦІН НА БІРЖІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЙНОГО РОЗПОДІЛУ ЦІНОНЕЗАЛЕЖНИХ ПРОПОЗИЦІЙ ВИРОБНИКІВ

Наведено метод зниження маржинальних цін на ринку електроенергії “на добу наперед” та підвищення ліквідності біржі електроенергії за рахунок оптимізаційного розподілу цінонезалежних пропозицій виробників електроенергії. Визначено переваги запропонованого методу та особливості добової мінімізації маржинальних цін на біржі електроенергії.

Ключові слова: ринок двосторонніх договорів, біржа, аукціон електроенергії, мінімізація ціни.

Одним з центральних сегментів конкурентної моделі ринку електроенергії, впровадження якої здійснюється сьогодні і в Україні, є “ринок на добу наперед” (РДН), функціонування якого забезпечується на біржі електроенергії [1, 4]. Для реалізації РДН на біржі електроенергії розв’язується математична задача визначення балансу між попитом та пропозицією на електроенергію на основі визначення точки перетину кривих попиту та пропозиції щодо купівлі-продажу електроенергії шляхом розрахунку результату двостороннього аукціону [3]. Критерії цільової функції розрахунку результатів аукціону з купівлі-продажу електроенергії передбачають мінімізацію дисбалансу між попитом та пропозицією на електроенергію за умов максимізації сумарної вартості електроенергії, визначеної у виграшних заявках покупців, та мінімізації сумарної вартості електроенергії, визначеної у виграшних пропозиціях продавців [1, 4]. Таким чином, метою двостороннього аукціону є досягнення максимуму “функції добробуту” РДН при визначенні маржинальної ціни та рівноважного обсягу електроенергії для кожного розрахункового періоду.

Зазначена задача може бути розв’язана методами лінійної, дискретної та комбінаторної оптимізації. При цьому вибір методу оптимізації та спосіб формування маржинальної ціни, з одного боку, безпосередньо залежить від типів заявок та пропозицій (біржових продуктів), а з іншого боку, впливає на стратегію роботи її учасників у цьому сегменті ринку електроенергії.

Крім максимізації сумарного добробуту, метою РДН є збільшення ліквідності біржі та зниження цін на електроенергію на ринку елек-

троенергії в цілому за рахунок зменшення обсягів торгівлі електроенергією на балансуєчому ринку за апріорі більш високими цінами.

Зважаючи на зазначене вище, метою статті є опис розробленого методу зниження маржинальних цін на РДН та підвищення ліквідності біржі електроенергії за рахунок використання нового типу біржових продуктів та способу його врахування під час визначення балансу між попитом та пропозицією на електроенергію на РДН.

Оптимізаційний розподіл цінонезалежних пропозицій виробників

При маржинальному ціноутворенні на біржі електроенергії указана в заявці ціна фактично визначає обмеження, в межах якого учасник готовий брати участь у торгах. Для покупця указана в заявці ціна визначає максимальну ціну, за якою він згоден купити електроенергію, у той час, як продавець визначає в пропозиції мінімальну ціну, за якою він згоден продати електроенергію.

Обмежуюча роль ціни в заявках/пропозиціях на РДН стала передумовою до запровадження на біржах електроенергії в Європі цінонезалежних заявок (“price independent”, “any price”) [1, 2, 5]. У такій заявці учасник аукціону визначає лише обсяги електроенергії, які він згоден продати/купити за будь-якою маржинальною ціною (МЦ), що складеться під час торгів. При цьому обмеження на використання заявок/пропозицій такого типу зумовлюється лише стандартними вимогами до обсягів, що можуть указуватись в заявках. Лише на біржі Belrex (Бельгія) не рекомендовано подавати блокові заявки “за будь-якою ціною” [2], оскільки, внаслідок особливостей методу розрахунку результатів торгів на цій біржі, така заявка може

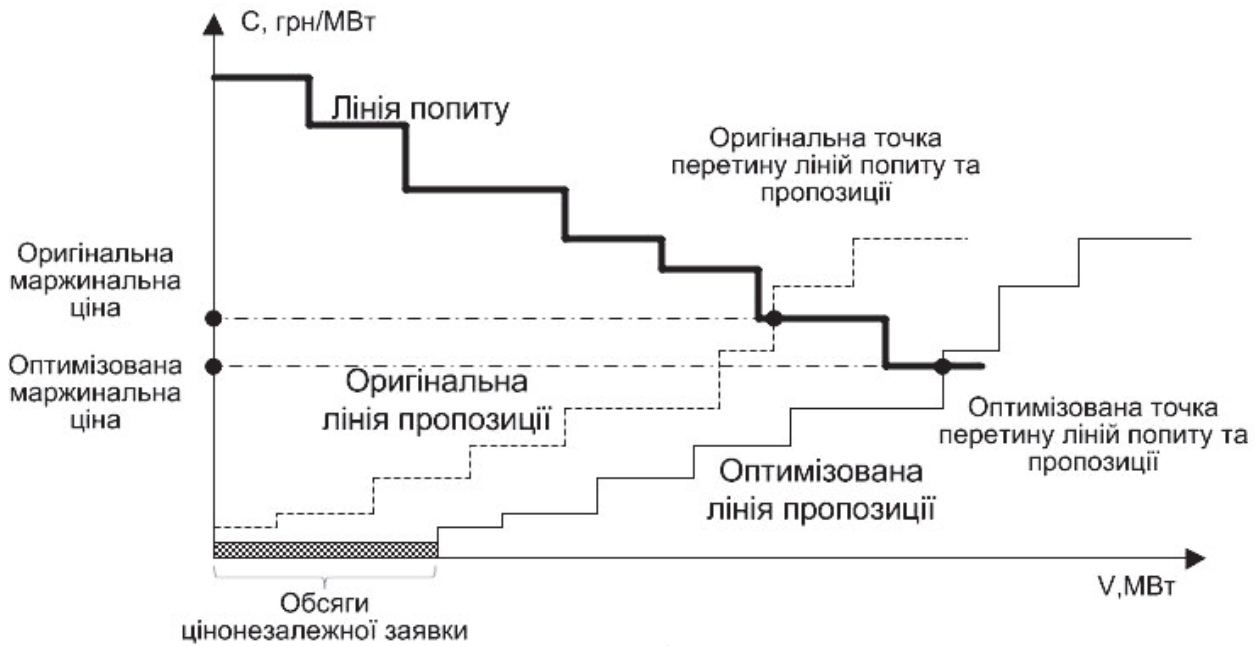


Рис. 1

бути відхилена випадково. Додатково до незалежності від ціни на біржі Nord Pool використовуються так звані блукальні заявки (Flexible hourly bid), в яких не вказується час реалізації цієї заявки. Під час торгів оператор біржі приймає такі заявки в години найбільшої вартості виробництва електроенергії. Використання “блукальних” пропозицій вигідно як продавцям електроенергії, оскільки в цьому випадку вони реалізують свою продукцію за найвищими протягом доби цінами, так і ринку в цілому, оскільки “блукальні” заявки сприяють зниженню МЦ на електроенергію в пікові години.

Дійсно, пропозиція типу “за будь-якою ціною” під час торгів на біржі має вищий пріоритет порівняно з пропозиціями, в яких визначена ціна. Тому, як показано на рис. 1, використання такої пропозиції спричиняє зміщення лінії пропозиції вправо на величину, чисельно рівну вказаному у цій пропозиції обсягу електроенергії.

У загальному випадку використання цінонезалежних та “блукальних” заявок/пропозицій приводить до таких наслідків:

збільшується ліквідність біржі за рахунок додаткового прийняття тих заявок на купівлю електроенергії, що були відхилені до введення цінонезалежної пропозиції;

знижується МЦ аукціону електроенергії за рахунок відхилення найдорожчих пропозицій від виробників, що були витіснені цінонезалежною пропозицією;

непряме загальне зниження цін на ринку електричної енергії за рахунок додаткового прийняття заявок на купівлю електроенергії, обсяги яких у протилежному випадку мали б компенсуватись додатковою генерацією електроенергії на балансуєчому ринку за апіорі більш високими цінами.

Таким чином, за наявності генеруючих потужностей, що відзначаються високою швидкістю маневру та низькою собівартістю електроенергії як в усталеному режимі, так і при наборі/скиданні навантаження, принципово можливе цілеспрямоване використання цінонезалежних пропозицій “блукального” типу для зниження МЦ на біржі електроенергії. В Україні роль таких генеруючих потужностей можуть виконувати ГЕС та ГАЕС. Пропозиції таких електростанцій можна подавати на біржі електроенергії у вигляді цінонезалежної пропозиції щодо продажу певного фіксованого обсягу електроенергії в будь-яку годину доби по МЦ, що склалася на певну годину доби, де використано таку пропозицію. Відмінність таких заявок полягає в тому, що зазначений в них обсяг, на відміну від “блукальних” заявок, може бути розділений між різними годинами доби з метою зменшення МЦ в цих годинах за певним алгоритмом.

Для визначення факторів, що впливають на зниження МЦ, розглянемо фрагмент ліній попиту та пропозицій в області їх перетину (рис. 2). З метою покращення наочності попит

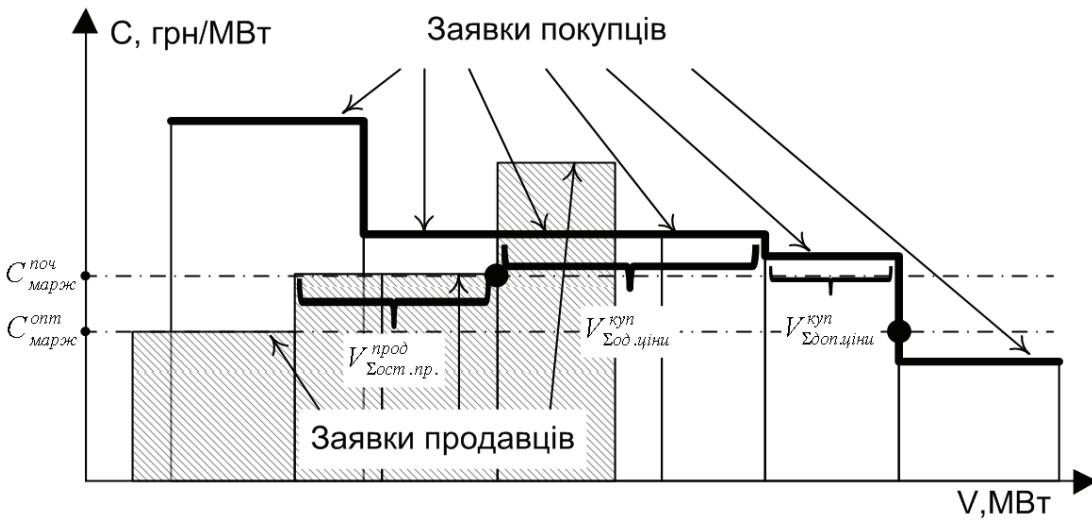


Рис. 2

на рис. 2 виділено потовщеною лінією, а пропозиції продавців заштриховано.

У загальному випадку, перш ніж буде досягнуто дійсне зниження МЦ на аукціоні електроенергії в конкретну годину доби, слід компенсувати обсяги електроенергії $V_{рез}^{прод}$ за лотами, що мають ту саму ціну, що й остання прийнята заявка покупця, але були відхилені за вимогою забезпечення балансу між попитом та пропозицією ($V_{\Sigma ост. ціни}^{куп}$ на рис. 2). Таким чином, об'єм резерву з пропозиції електроенергії, призначеного для мінімізації МЦ, повинен бути більшим за вказані вище обсяги попиту:

$$V_{рез}^{прод} > V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} \quad (1)$$

Слід зазначити, що реалізація (1) безпосередньо не приводить до зниження МЦ. Проте повна чи часткова компенсація $V_{\Sigma ост. ціни}^{куп}$ збільшуватиме ліквідність біржі електроенергії та сприятиме загальному зниженню цін на електроенергію, оскільки в протилежному випадку обсяги $V_{\Sigma ост. ціни}^{куп}$ компенсуватимуться на балансуєчому ринку за апріорі більш високими цінами.

Як показано на рис. 2, можливі дві складові безпосереднього зниження МЦ на біржі електроенергії для конкретної години доби:

задоволення попиту, представленого заявками, що мають ціну, нижчу за МЦ для даного аукціону ($V_{\Sigma ост. ціни}^{куп}$);

витіснення останніх прийнятих пропозицій з однаковою ціною на продаж електроенергії $V_{\Sigma ост. пр.}^{прод}$ за точку перетину ліній попиту та пропозицій.

Як видно з рис. 2, мінімально допустима ціна заявок на купівлю електроенергії, що можуть бути компенсовані за рахунок додаткової пропозиції, визначається ціною останньої прийнятої пропозиції продавця електроенергії. Тому обсяг пропозиції електроенергії, що має компенсувати незадоволений попит за цінами вищими, ніж ціна останньої прийнятої пропозиції на продаж електроенергії, розраховується так:

$$V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} = \sum_i V_i^{куп}; \quad C_i^{куп} \geq C_{ост. пр.}^{прод} \quad (2)$$

де $V_i^{куп}$, $C_i^{куп}$ – відповідно обсяг та ціна i -ї заявки з купівлі електроенергії, що компенсується за рахунок додаткової пропозиції; $C_{ост. пр.}^{прод}$ – ціна останньої прийнятої пропозиції продавця електроенергії.

Таким чином, обсяги пропозиції електроенергії, необхідні для зниження МЦ за рахунок компенсації незадоволеного попиту, обчислюються за відношенням

$$V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} < V_{рез}^{прод} \leq V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} + V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} \quad (3)$$

Зниження МЦ за рахунок витіснення останніх прийнятих пропозицій з однаковою ціною на продаж електроенергії за точку перетину ліній попиту та пропозицій можливе лише за умови повного витіснення цих пропозицій. Тому обсяги продажу електроенергії, необхідні для зниження МЦ за рахунок витіснення останніх прийнятих пропозицій з однаковою ціною на продаж електроенергії, обчислюються за співвідношенням

$$V_{рез}^{прод} \geq V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} + V_{\Sigma ост. ціни}^{куп} + V_{\Sigma ост. пр.}^{прод} \quad (4)$$

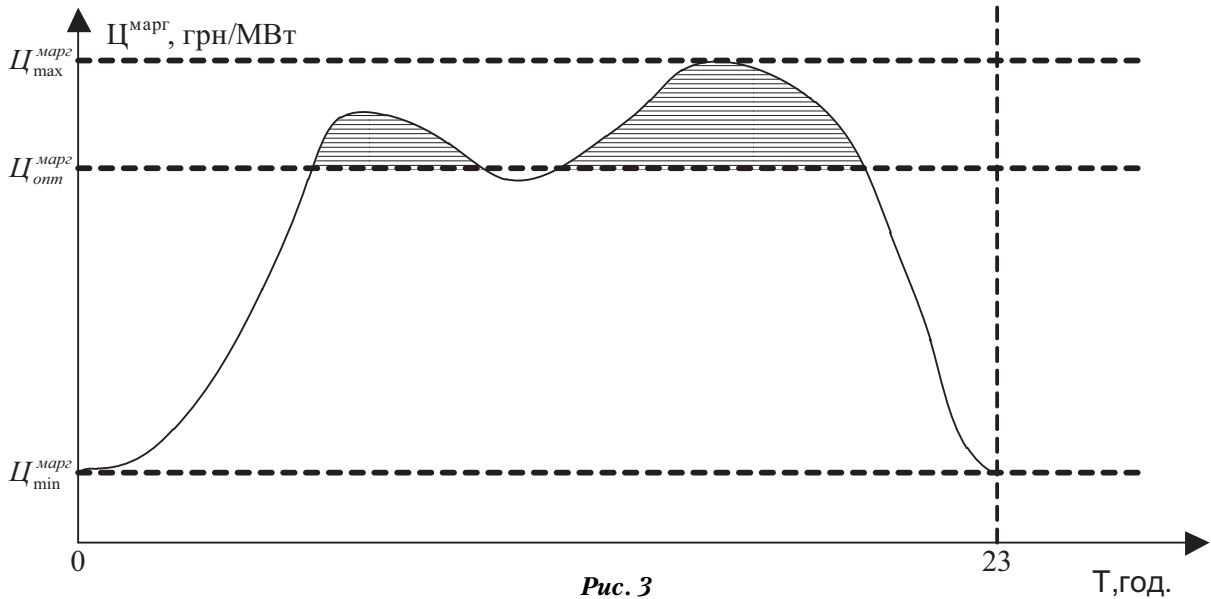


Рис. 3

Добова мінімізація маржинальних цін на РДН
 На РДН біржі електроенергії мета оптимізації МЦ полягає у зниженні чисельних значень МЦ у години з найбільшими рівнями МЦ до рівня C_{opt}^{marg} (див. рис. 3).

Таким чином, цільова функція добової оптимізації МЦ на РДН матиме вигляд

$$\max(C_0^{marg}, C_1^{marg}, C_2^{marg}, \dots, C_{23}^{marg}) - \min(C_0^{marg}, C_1^{marg}, C_2^{marg}, \dots, C_{23}^{marg}) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Як видно з (5), задача добової оптимізації МЦ на РДН має дискретний характер. Дискретність полягає у необхідності на кожному кроці оптимізації вибирати годину доби з найбільшою МЦ. Водночас години, в яких МЦ менші за C_{opt}^{marg} (рис. 3), оптимізації не підлягають. Тому задача зводиться до покрокового пошуку години з найбільшою МЦ C_{max}^{marg} (рис. 4) та додаткового введення для вибраної години

такого обсягу пропозиції електроенергії, щоб МЦ зменшилась до рівня, не більшого за “другу максимальну ціну” C_{max-1}^{marg} в добі.

Таким чином, зниження МЦ ΔC_{opt} для вибраної години доби на РДН повинно становити:

$$\Delta C_{opt} \geq C_{max}^{marg} - C_{max-1}^{marg}. \quad (6)$$

Вираз (6) є необхідною умовою успішного завершення окремого кроку мінімізації МЦ на РДН. Дійсно, у випадку порушення умови (6):

$$\Delta C_{opt} < C_{max}^{marg} - C_{max-1}^{marg},$$

МЦ години доби, що оптимізується, все одно залишиться найвищою і на наступному кроці МЦ цієї години доби знову потребуватиме оптимізації.

З іншого боку, за умови

$$\Delta C_{opt} > C_{max}^{marg} - C_{max-1}^{marg},$$

МЦ години доби, що оптимізується, вже не є

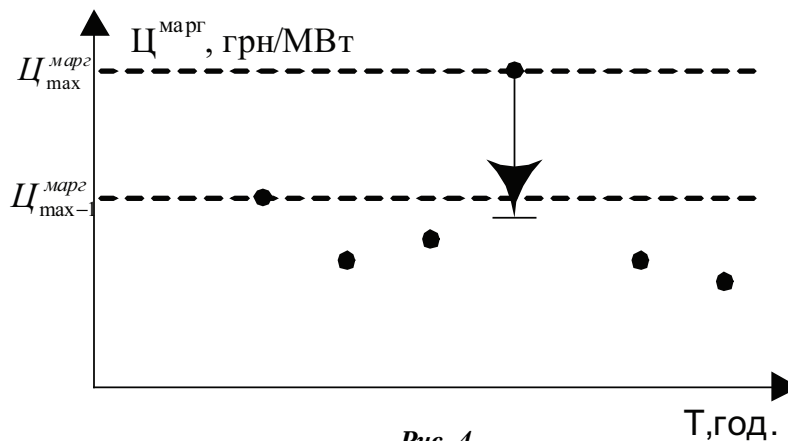


Рис. 4

найвищою, і оптимізації підлягає інша година доби.

Таким чином, рівність

$$\Delta\Pi_{opt} = \Pi_{max}^{marg} - \Pi_{max-1}^{marg} \quad (7)$$

є достатньою умовою успішного завершення окремого кроку мінімізації МЦ на РДН.

За виконання рівності (7) наступний крок мінімізації МЦ на РДН розглядатиме мінімум дві години доби з однаковою максимальною МЦ. При цьому принципово нескладно реалізувати додатковий цикл з послідовною мінімізацією МЦ для групи годин з однаковою МЦ. Однак слід відзначити, що у цьому випадку на останньому кроці оптимізації, коли залишкового об'єму генерації електроенергії недостатньо для виконання (7) для декількох годин доби, виникає необхідність у додаткових критеріях розподілу генеруючих потужностей. Серед підходів до розподілу потужностей для тих годин доби, що розглядаються на останньому кроці оптимізації, можна виділити такі:

рівномірне зниження МЦ з відповідним розподілом обсягу пропозиції, що залишився;

максимізація сумарного добробуту ринку;

рівномірний або пропорційний розподіл потужностей.

Очевидно, що перший підхід найбільше відповідає основній меті оптимізації МЦ на РДН, але за наявності на РДН заявок та пропозицій дискретного типу рівномірне зниження МЦ для всіх годин, що розглядаються на останньому кроці оптимізації, не завжди можливе. У таких випадках виникатиме необхідність вводити додаткові критерії оптимізації. Другий підхід найкраще відповідає первинній меті аукціону на РДН, однак, у зв'язку з дискретністю постановки задачі мінімізації МЦ на РДН, виникає проблема комбінаторності процесу пошуку розв'язків поставленої задачі. Останній підхід найбільш простий у реалізації, проте, у загальному випадку, виникатиме протиріччя з критерієм рівномірності зниження МЦ та критерієм максимізації сумарного добробуту

ринку. Слід відзначити, що один з визначених підходів до розподілу потужностей для тих годин доби, що розглядаються, на останньому кроці мінімізації МЦ на РДН, має бути визначений правилами функціонування біржі електроенергії, з урахуванням особливостей його практичної реалізації.

ВИСНОВКИ

Наведений у статті метод мінімізації рівня МЦ на РДН за рахунок оптимізаційного розподілу цінонезалежних пропозицій виробників електроенергії надає змогу забезпечити рівномірне зниження МЦ на РДН в години доби з найбільшою ціною електроенергії, а також збільшення ліквідності біржі, що, в свою чергу, впливає на зменшення обсягів торгів балансуємого ринку по апріорі більшими цінами. Це приводить до зниження цін на конкурентному ринку електроенергії в цілому.

1. *Блінов І.В., Парус Є.В.* Особливості погодинних цінних заявок та пропозицій учасників біржі електроенергії // Електропанорама. – 2011. – № 6. – С. 30–35.
2. *Блінов І.В., Парус Є.В.* Аспекти використання блокових заявок та пропозицій учасників на біржі електроенергії // Електропанорама. – 2011. – № 7-8. – С. 24–27.
3. *Блінов І.В., Парус Є.В., Попович В.І., Казанська О.Г., Гварішвілі О.Й.* Імітаційна модель розрахунку результатів аукціону з купівлі-продажу електричної енергії. Аспекти практичної реалізації // Електропанорама. – 2010. – № 10. – С. 16–18.
4. *Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В.* Визначення результатів аукціону з купівлі-продажу електричної енергії // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – Вип. 3 (23). – С. 5–12.
5. *Power exchange spot market trading in Europe: theoretical considerations and empirical evidence* // OSCOGEN. – 2002. – 29 p.

Надійшла до редколегії: 02.10.2011