

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЙ ЧИСТОГО ЕКСПОРТУ ПРИ ВРАХУВАННІ МЕРЕЖЕВИХ ОБМЕЖЕНЬ НА РИНКУ «НА ДОБУ НАПЕРЕД»

І.В. Блінов, канд.техн.наук, Є.В. Парус, канд.техн.наук
 Інститут електродинаміки НАН України,
 пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.
 e-mail: igorblinov@mail.ru

У статті представлено результати досліджень особливостей використання функцій чистого експорту при розв'язанні задачі врахування мережеских обмежень на ринку «на добу наперед». Визначено, які властивості цих функцій слід враховувати при розробці методів та алгоритмів розрахунку обсягів обміну електроенергією між ціновими областями. Розглянуто ситуацію, коли графіки функцій чистого експорту двох цінових областей не мають точки перетину. Показано, що розрахунки, виконані методами розділення та сполучення ринку, у даній ситуації призводять до різних результатів. Відображено випадки появи неоднозначностей при ціноутворенні на ринку «на добу наперед» та показано основні причини їхнього виникнення. Розглянуто шляхи вирішення методологічних проблем, що виникають при порівнянні функцій чистого експорту. Наведено концепцію розв'язання задачі врахування мережеских обмежень на ринку «на добу наперед», засновану на методі сполучення ринку електроенергії. Бібл. 7, рис. 4.

Ключові слова: ринок електроенергії, мережеві обмеження, оптимізація, електрична мережа.

Вступ. Однією із основних та актуальних задач забезпечення функціонування ринку «на добу наперед» (РДН) є визначення методів врахування обмежень на потоки електроенергії в магістральних лініях енергосистеми та міжсистемних електричних зв'язках [1, 2]. Сьогодні відомі два основні методи розв'язання цієї задачі, а саме – метод сполучення ринку шляхом аналізу потокорозподілу (Flow-based market Coupling – FBC) [2, 4] та метод децентралізованого сполучення ринків (Decentralized Market Coupling – DMC) [6]. Кожний із цих методів має свої особливості, переваги та недоліки.

Метод DMC базується на використанні апарату функцій чистого експорту (ФЧЕ – Net Export Curves). Графіки таких функцій використовуються в багатьох макроекономічних моделях для оцінки потенціалу взаємодії між локальними ринками та визначення балансу імпорту/експорту [7]. Так само і для ринків електроенергії ФЧЕ дозволяють порівнювати потенціал експорту та ємність імпорту окремих ринків для оцінки можливостей торгівлі між ними. Проте у розширенні DMC для трьох цінових областей (Trilateral Market Coupling – TMC) не застосовується формальний опис структури електричних зв'язків [5]. В результаті TMC зводиться до аналізу ситуацій, притаманних тільки окремим країнам, наприклад, для сполучення ринків Франції, Бельгії та Нідерландів. Для розробки типового алгоритму врахування мережеских обмежень при довільній кількості цінових областей за будь-якої структури електричних мереж виникла необхідність поглибленого аналізу властивостей ФЧЕ.

Метою статті є розгляд властивостей ФЧЕ, які слід враховувати при побудові розрахункової моделі для розв'язання задачі непрямого врахування мережеских обмежень на РДН. Для наочності в статті висвітлено функції попиту та пропозиції, сформовані з лінійних цінових заявок та пропозицій. Аналіз цінових заявок та пропозицій ступінчатого типу здійснюється аналогічно. Крім того зауважимо, що на РДН здійснюється торгівля електроенергією (МВт·год). Проте для врахування пропускнуої спроможності електричних мереж (яка визначається рівнями завантаження – МВт) на погодинному аукціоні РДН більш зручно використовувати приведені до однієї години обсяги електроенергії, тобто визначати обсяги потужності (МВт) протягом однієї години доби.

Відповідно до [6], ФЧЕ визначається як алгебраїчна різниця функцій попиту та пропозиції. Нехай на РДН сформовано функцію еластичного попиту $f^{\text{поп}}(C)$ як залежність обсягів купівлі електроенергії від граничної ціни на погодинному аукціоні (рис. 1). Функція попиту визначається на інтервалі від найвищої $C_{\text{max}}^{\text{поп}}$ до найнижчої $C_{\text{min}}^{\text{поп}}$ цін у множині цінових заявок, причому $f^{\text{поп}}(C_{\text{max}}^{\text{поп}}) = 0$ і $f^{\text{поп}}(C_{\text{min}}^{\text{поп}}) = V_{\text{max}}^{\text{поп}}$. Аналогічно визначається функція пропозиції. Детально особливості формування функцій попиту та пропозиції розглянуто у [3]. Для порівняння ФЧЕ різних цінових областей достатньо виділити області визначення та значень функцій попиту та пропозиції:

$$\begin{cases} f^{\text{поп}}(C) \in [0, V_{\text{поп}}^{\text{поп}}], & C_{\text{min}}^{\text{поп}} \leq C \leq C_{\text{max}}^{\text{поп}} \\ f^{\text{проп}}(C) \in [0, V_{\text{проп}}^{\text{проп}}], & C_{\text{min}}^{\text{проп}} \leq C \leq C_{\text{max}}^{\text{проп}} \end{cases}$$

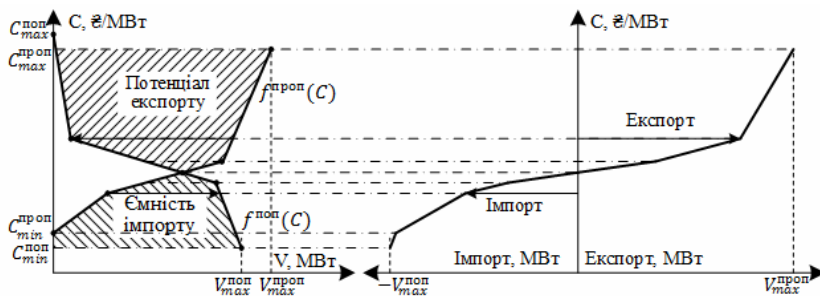


Рис. 1

енергії. Інтервал, на якому $NEC(C) > 0$, відображає експортний потенціал цінової області, а інтервал з $NEC(C) < 0$ – ємність для імпорту електроенергії в ціновій області.

У [6] деталізовано алгоритм аналізу ФЧЕ двох цінових областей для розрахунку обсягів обміну електроенергією (потенціал експорту та ємність імпорту) між двома ціновими областями. Основна послідовність аналізу наступна. Попередньо здійснюється моделювання ізольованих аукціонів окремо по кожній ціновій області. За результатами моделювання порівнюються граничні ціни, які

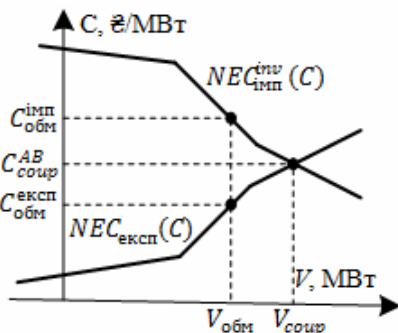


Рис. 2

формується в цих областях на ізольованих аукціонах. Цінова область з вищою граничною ціною визначається як імпортер електроенергії, а з нижчою граничною ціною – як експортер. Для області-імпортера ФЧЕ інвертується $NEC_{\text{імп}}^{\text{inv}}(C) = -NEC_{\text{імп}}(C)$. Тоді розв'язок задачі сполучення двох цінових областей знаходиться із рівності $NEC_{\text{експ}}(C) = NEC_{\text{імп}}^{\text{inv}}(C)$. Як показано на рис. 2, точка перетину графіків ФЧЕ області-експортера $NEC_{\text{експ}}(C)$ та інвертованої ФЧЕ області-імпортера $NEC_{\text{імп}}^{\text{inv}}(C)$ визначають спільну граничну ціну сполучених областей та обсяги обміну електроенергією. Аналіз графіків двох ФЧЕ здійснюється за правилами аналізу функцій попиту та пропозиції на погодинному аукціоні, що

дозволяє використовувати вже існуючі алгоритми. Якщо пропускна спроможність електричних мереж не дозволяє реалізувати розрахований обсяг обміну електроенергією ($V_{\text{обм}} < V_{\text{соуп}}$), то обсяги імпорту/експорту фіксуються на рівні $V_{\text{обм}}$, а для цінових областей встановлюються граничні ціни відповідно $C_{\text{обм}}^{\text{імп}}$ – для імпортера і $C_{\text{обм}}^{\text{експ}}$ – для експортера.

Дослідження різних відношень між ФЧЕ показали, що наведена вище послідовність аналізу дає адекватні результати лише у випадку, коли графіки ФЧЕ двох цінових областей мають точку перетину. В протилежному випадку виникає ряд протиріч, для усунення яких необхідно здійснювати додаткові розрахунки.

Розглянемо процес аналізу попиту та пропозиції на РДН, що складається з двох цінових областей A та B . Попит та пропозиція в області A подаються функціями відповідно $f_{\text{поп}}^A(C)$ і $f_{\text{проп}}^A(C)$. Аналогічно в області B попит та пропозиція подаються функціями $f_{\text{поп}}^B(C)$ і $f_{\text{проп}}^B(C)$. Для розрахунку обсягів обміну електроенергією між областями сформовано функції чистого експорту (ФЧЕ) такі, що $NEC^A(C) = f_{\text{проп}}^A(C) - f_{\text{поп}}^A(C)$ і $NEC^B(C) = f_{\text{проп}}^B(C) - f_{\text{поп}}^B(C)$. Нехай обмін електроенергією здійснюється від області B до області A . Тоді обсяги обміну електроенергією розраховуватимуться з використанням ФЧЕ області B $NEC^B(C)$ та інвертованої ФЧЕ області A $NEC_{\text{inv}}^A(C) = -NEC^A(C)$ (рис. 3, а).

При цьому (рис. 3, а) результати аукціону в частині ціноутворення залежать від методу врахування обмежень на потоки електроенергії між двома областями. Якщо застосовується метод

Згідно із [6] ФЧЕ розраховується як

$$NEC(C) = f^{\text{проп}}(C) - f^{\text{поп}}(C).$$

Не важко показати, що ФЧЕ визначатиметься на інтервалі граничних цін $[C_{\text{min}}^{\text{поп}}, C_{\text{max}}^{\text{проп}}]$ і набуватиме на цьому інтервалі значень: $-V_{\text{max}}^{\text{поп}} \leq NEC(C) \leq V_{\text{max}}^{\text{проп}}$.

Як показано на рис. 1, ФЧЕ мають області додатних та від'ємних значень обсягів електро-

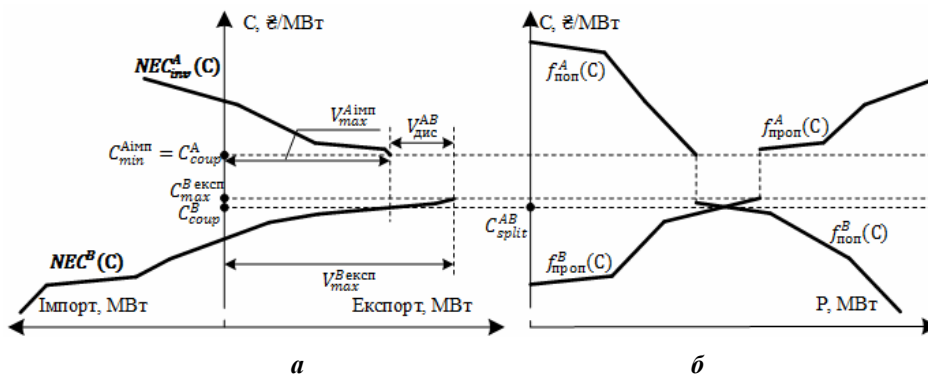


Рис. 3

електроенергії враховуються методом сполучення ринків (MCP), тобто єдиний ринок спочатку розділяється на цінові області, а потім моделюється процес їхнього сполучення, то в області *A* встановиться гранична ціна $C_{соур}^A$, а в області *B* – $C_{соур}^B$, причому $C_{соур}^A \neq C_{соур}^B$.

Неоднозначність у результатах розрахунків граничних цін спричинена тим, що для зображеного на рис. 3 прикладу єдина гранична ціна на спільному аукціоні фактично формується у точці перетину графіків функцій попиту та пропозиції цінової області *B*. Оскільки функції попиту та пропозиції цінової області *B* є ціноутворювальними для обох варіантів, то і результати розрахунку граничної ціни для області *B* в обох випадках співпадають. У той же час для цінової області *A* при застосуванні MPP рівноважна ціна формується ціновими заявками та пропозиціями іншої області, що може стати підставою для анулювання результатів аукціону. Крім того, MPP передбачає виділення цінових областей та встановлення в них різних граничних цін лише у випадку переобтяження міжсистемного електричного зв'язку. Якщо ж пропускна спроможність електричних мереж дозволяє реалізувати розраховані обсяги обміну електроенергією, то MPP не дозволяє виявити зображену на рис. 3 ситуацію без здійснення додаткових розрахунків. Таким чином, MCP дозволяє більш ефективно враховувати різні співвідношення між попитом та пропозицією.

Слід також зауважити, що в MCP неоднозначність у результатах розрахунків граничних цін виникає лише у випадку, коли правилами ринку зазначається необхідність встановлення єдиної граничної ціни. В той же час ФЧЕ дозволяють розрахувати ціни в кожній області ринків, що сполучуються, як для ізольованих аукціонів, так і з урахуванням обміну електроенергією між цими областями (рис. 3, *a*). Таким чином, ФЧЕ можливо використовувати для визначення граничних цін при розрахунках обсягів обміну електроенергією, а також при розв'язанні задачі ціноутворення, якщо правилами ринку допускається формування різних граничних цін у областях, що сполучуються. Можливо також додатково визначити у правилах функціонування РДН необхідність перевірки ситуацій, подібних наведеному на рис. 3 прикладу. В цьому випадку, якщо обсяг обміну електроенергією не досягає максимального значення пропускної спроможності електричних мереж, то не повне сполучення ринку не викликано переобтяженням електричних мереж. Аналіз різних підходів до постановки задачі ціноутворення виходить за межі даної публікації, проте показана на рис. 3 ситуація має враховуватися при розробці правил розрахунків результатів аукціонів на РДН.

Очевидно, що коли графіки $NEC_{inv}^A(C)$ і $NEC^B(C)$ не мають точки перетину, то обсяги обміну електроенергією можливо розрахувати за спрощеною формулою

$$V_{max}^{B \rightarrow A} = \min(V_{max}^{A_{имп}}, V_{max}^{B_{експ}}), \quad (1)$$

де $V_{max}^{A_{имп}}$ – максимальний обсяг імпорту електроенергії в область *A*, причому $V_{max}^{A_{имп}} = \max(NEC_{inv}^A(C))$; $V_{max}^{B_{експ}}$ – максимальний обсяг експорту електроенергії з області *B*, причому $V_{max}^{B_{експ}} = \max(NEC^B(C))$.

Означимо поняття потенційного дисбалансу як алгебраїчну різницю між ємністю імпорту електроенергії в області-імпортері та потенціалом експорту в області-експортері: $V_{дис}^{AB} = V_{max}^{B_{експ}} - V_{max}^{A_{имп}}$. Аналіз значення цього дисбалансу дозволяє апріорі визначити особливості результату розрахунків з використанням MCP. Розглянемо докладніше ці особливості.

розділення ринку (MPP), тобто єдиний ринок розділяється на цінові області лише тоді, коли за результатами розрахунку спільного аукціону виникає переобтяження міжсистемного зв'язку, то на спільному аукціоні отримується єдина гранична ціна C_{split}^{AB} (рис. 3, *б*). Якщо обмеження на потоки

1. $V_{\text{дис}}^{AB} > 0$. Якщо значення максимальної ємності імпорту електроенергії області-імпортера менше, ніж значення максимального потенціалу експорту області-експортера, то застосування МСР призводить до наступних результатів:

- власна пропозиція області-імпортера повністю витісняється пропозицією з області-експортера;
- цінові пропозиції області-експортера стають ціноутворювальними для спільного аукціону;
- для області-імпортера складається неоднозначна ситуація з ціноутворенням, при цьому наведений у [6] спосіб аналізу графіка ФЧЕ області-імпортера для визначення граничної ціни не в усіх випадках дає адекватний результат.

2. $V_{\text{дис}}^{AB} < 0$. Якщо значення максимальної ємності імпорту електроенергії області-імпортера більше, ніж значення максимального потенціалу експорту області-експортера, то застосування МСР призводить до наступних результатів:

- власний попит області-експортера повністю витісняється попитом області-імпортера;
- цінові пропозиції області-імпортера стають ціноутворювальними для спільного аукціону;
- для області-експортера складається неоднозначна ситуація з ціноутворенням, при цьому наведений у [6] спосіб аналізу графіка ФЧЕ області-експортера для визначення граничної ціни не в усіх випадках дає адекватний результат.

3. $V_{\text{дис}}^{AB} = 0$. Якщо значення максимальної ємності імпорту електроенергії області-імпортера дорівнює значенню максимального потенціалу експорту області-експортера, але графіки ФЧЕ двох областей не мають точки перетину, то застосування МСР призводить до наступних результатів:

- власна пропозиція області-імпортера повністю витісняється пропозицією з області-експортера;
- власний попит області-експортера повністю витісняється попитом з області-імпортера;
- в обох областях складається неоднозначна ситуація з ціноутворенням.

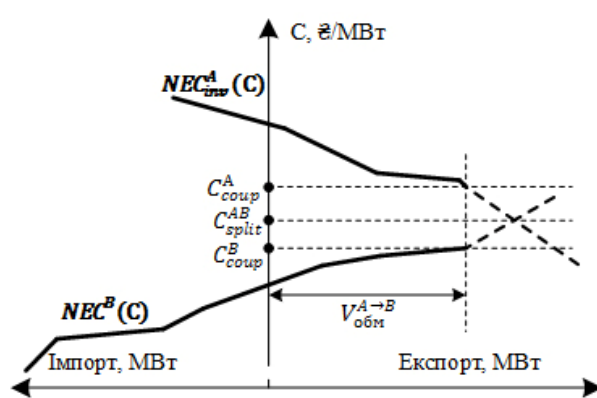


Рис. 4

Слід зазначити, що ситуація, коли графіки ФЧЕ не мають точки перетину, виникає також у випадках, якщо обмеження на обсяги обміну електроенергією між ціновими областями $V_{\text{обм}}^{A \rightarrow B}$ впливає на результати аукціону. Дійсно, обмежена пропускна спроможність електричних мереж фактично зменшує ємність імпорту та потенціал експорту, які можливо узгодити під час аукціону. Тому області значень ФЧЕ за межами $V_{\text{обм}}^{A \rightarrow B}$ ігноруватимуться. Як наслідок, графіки ФЧЕ, де враховуються лише допустимі обсяги імпорту/експорту електроенергії, можуть не перетинатися (рис. 4). У цьому випадку виникатиме неоднозначність у результатах розрахунку

граничних цін для обох областей ($V_{\text{дис}}^{AB} = 0$). Розрахунки по МСР призведуть до формування різних значень граничних цін ($C_{\text{соур}}^A \neq C_{\text{соур}}^B$). У той же час, за результатами спільного аукціону як без урахування $V_{\text{обм}}^{A \rightarrow B}$, так і з попереднім відхиленням цінових заявок за межами $V_{\text{обм}}^{A \rightarrow B}$, буде сформовано єдину граничну ціну C_{split}^{AB} . Показані на рис. 3 і рис. 4 приклади зумовлені різними причинами, проте властивості ФЧЕ в обох випадках не змінюються, що дозволяє здійснювати аналіз обох ситуацій за єдиним алгоритмом як задачу дискретної оптимізації з використанням формули (1). Крім того, ситуацію, коли графіки ФЧЕ двох цінових областей перетинаються і $V_{\text{обм}} \geq V_{\text{соур}}$ (рис. 2), також можливо розв'язати за формулою (1), використовуючи додаткове обмеження $C_{\text{соур}}^A \geq C_{\text{соур}}^B$.

Описані вище властивості ФЧЕ дозволяють визначити єдину граничну ціну при сполученні двох цінових областей. При сполученні трьох та більше цінових областей залежність між граничними цінами та обсягами обміну електроенергією суттєво ускладнюється і не може бути виражена правилами, подібними наведеним вище. Проте, як показали дослідження, описані вище правила даватимуть адекватний результат лише для аналізу окремого зв'язку між двома ціновими областями.

Аналіз ФЧЕ цінових областей, що сполучуються, слід здійснювати лише для розрахунку обсягів імпорту/експорту електроенергії, а розрахунок граничної ціни слід виділити як окрему підзадачу.

Таким чином, для побудови універсального методу розрахунку обсягів обміну електроенергією доцільно змінити наведену в [5, 6] послідовність аналізу. Обмеження пропускної спроможності електричних мереж слід враховувати вже на етапі побудови ФЧЕ. Тоді розрахунок обсягів обміну електроенергією здійснюватиметься за єдиним алгоритмом як задача дискретної оптимізації для будь-яких відношень між ФЧЕ.

За результатами досліджень, наведених у статті, а також інших відношень між ФЧЕ сформувано наступну концепцію врахування мережевих обмежень на РДН.

1. Для розв'язання поставленої задачі слід використовувати МСР, тобто єдиний ринок електроенергії попередньо розділяється на цінові області, які пов'язані між собою потенційно проблемними електричними зв'язками. Далі має розв'язуватися задача пошуку оптимального розподілу електроенергії між ринками, що сполучаються, за якого різниця граничних цін у цих ринках зводиться до мінімуму, причому метод розв'язання поставленої задачі повинен допускати можливість оптимізації за дискретними змінними.

2. Для визначення обсягів обміну електроенергією між ціновими областями визначення граничних цін слід здійснювати шляхом розрахунку результатів аукціонів окремо по кожній цінній області з урахуванням поточних балансів імпорту/експорту електроенергії в них.

3. Для формування єдиної граничної ціни (якщо таку не досягнуто на попередньому етапі розрахунків) слід здійснити розрахунок результатів спільного аукціону, де братимуть участь лише ті цінні заявки, які були прийняті за результатами розрахунку обсягів обміну електроенергією між цінними областями.

Таким чином, за результатами досліджень визначено, що розрахунки з використанням МРР та МСР призводять до різних результатів внаслідок появи неоднозначностей при ціноутворенні на РДН. Запропоновано шляхи врахування цих неоднозначностей, що виникають при порівнянні функцій чистого експорту, та формування єдиної граничної ціни при сполученні ринку електроенергії. Розроблено концепцію побудови розрахункової моделі для розв'язання задачі врахування мережевих обмежень на РДН, яка дозволяє ефективно розв'язати цю задачу за будь-яких співвідношень між попитом та пропозицією.

1. *Блінов І.В.* Зональне ціноутворення як спосіб врахування мережевих обмежень на біржі електроенергії // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – № 2(25). – С. 49 – 53.
2. *Блінов І.В., Парус Є.В.* Зональне врахування мережевих обмежень на ринку «на добу наперед». Загальний огляд // Електропанорама. – 2013. – № 5. – С. 33 – 35.
3. *Блінов І.В., Парус Є.В.* Дослідження принципів побудови функцій чистого експорту при сполученні ринків електроенергії // Праці ІЕД НАН України. – 2015. – Вип. 40. – С. 60 – 66.
4. *CWE Enhanced Flow-Based MC intuitiveness report: Discussion Paper* // CWE Steering Committee. – 2013. – Version 3.0. – 63 p.
5. *Trilateral market coupling algorithm* // POWERNEXT. – 2006. – 25 c.
6. *Using Implicit Auctions to Manage Cross-Border Congestion: 'Decentralised Market Coupling'*. Paper by EuroPEX, Tenth Meeting of the European Electricity Regulatory Forum, 8 July 2003. Available at: http://www.energy-exchanges.eu/public/20030708-pm-europex_forum_paper.pdf (accessed 11.08.2015)
7. *Sullivan, Arthur; Steven M. Sheffrin* (2003). *Economics: Principles in action*. – Upper Saddle River, New Jersey 07458: Pearson Prentice Hall. – 462 p.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ЧИСТОГО ЭКСПОРТА ПРИ УЧЕТЕ СЕТЕВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА РЫНКЕ «НА СУТКИ ВПЕРЕД»

И.В. Блинов, канд.техн.наук, **Е.В.Парус**, канд.техн.наук
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.
e-mail: igorblinov@mail.ru

В статье приведены некоторые результаты исследований свойств функций чистого экспорта при решении задачи учета сетевых ограничений на рынке «на сутки вперед». Определено, какие свойства функций чистого экспорта следует учитывать при разработке методов и алгоритмов расчета объемов обмена электроэнергией.

гией между ценовыми областями. Рассмотрена ситуация, когда графики функций чистого экспорта двух ценовых областей не пересекаются. Показано, что расчеты, выполненные методами разделения и объединения рынков, для данной ситуации приводят к разным результатам. Отражены случаи появления неоднозначности при ценообразовании на рынке «на сутки вперед», показаны основные причины их возникновения. Рассмотрены возможности решения методологических проблем, возникающих при сравнении функций чистого экспорта. Приведена концепция построения расчетной модели решения задачи учета сетевых ограничений на рынке «на сутки вперед», основанная на методе объединения рынков электроэнергии. Библ. 7, рис. 4.
Ключевые слова: рынок электроэнергии, сетевые ограничения, оптимизация, электрическая сеть.

FEATURES OF USE OF THE NET EXPORT FUNCTION PROPERTIES FOR THE CONGESTION MANAGEMENT ON THE "DAY-AHEAD" MARKET

I.V. Blinov, Ye.V. Parus

**Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.
e-mail: igorblinov@mail.ru**

The article presents the results of research the features of net export functions from the point of view on solving the problem of the congestion management on the "day-ahead" market. The properties of net exports functions to consider while the development of methods and algorithms for the calculation of the electricity exchange between price areas are shown. We consider the situation where the graphics of net exports functions of two price areas do not overlap. It is shown that the calculation by method of market coupling and method of market splitting for a given situation lead to different results. The contradiction of pricing logic and the main reasons for these contradictions are shown. A method for the solution of methodological problems that arise when comparing the net export functions is suggested. The conception of developing a computational model for solving problem of congestion management on the "day-ahead" market is given. References 7, figures 4.

Key words: electricity market, network constraints, optimization, power network.

1. Blinov I.V. Zonal pricing as a way to take into account network constraints on power exchange // Problemy Zahalnoi Enerhetyky. – 2011. – No 2(25). – Pp. 49–53. (Ukr)
2. Blinov I.V., Parus Ye.V. Zonal congestion management on the day-ahead market. General view // Elektropanorama. – 2013. – No 5. – Pp. 33–35. (Ukr)
3. Blinov I.V., Parus Ye.V. Research of construction principles of net export functions in view of the electricity market coupling // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2015. – Vol. 40. – Pp. 60–66. (Ukr)
4. *CWE Enhanced Flow-Based MC* intuitiveness report: Discussion Paper // CWE Steering Committee. – 2013. – Version 3.0. – 63 p.
5. *Trilateral market coupling algorithm* // POWERNEXT. – 2006. – 25 p.
6. *Using Implicit Auctions to Manage Cross-Border Congestion: ‘Decentralised Market Coupling’*. Paper by EuroPEX, Tenth Meeting of the European Electricity Regulatory Forum, 8 July 2003. Available at: http://www.energy-exchanges.eu/public/20030708-pm-europex_forum_paper.pdf (accessed 11.08.2015)
7. Sullivan, Arthur; Steven M. Sheffrin (2003). *Economics: Principles in action*. – Upper Saddle River, New Jersey 07458: Pearson Prentice Hall. – 462 p.

Надійшла 17.04.2015
Остаточний варіант 28.08.2015