

# СПОСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ АУКЦІОНУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МІЖДЕРЖАВНИХ ПЕРЕТИНІВ МІЖ РИНКАМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

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](mailto:igorblinov@mail.ru)

*Розглянуто спосіб розподілу пропускної спроможності міждержавного перетину між ринками електричної енергії на основі моделювання аукціону щодо купівлі пропускної спроможності в кожному напрямку передавання електроенергії через такий перетин. Запропонований спосіб дозволяє реалізувати багатосторонню міждержавну торгівлю електроенергією з використанням ОЕС України як транзитного вузла без необхідності фактичного об'єднання ринків електричної енергії сусідніх країн. Бібл. 4, рис. 2.*

**Ключові слова:** ринок електроенергії, розподіл пропускної спроможності.

Сьогодні розвиток оптового ринку електричної енергії України пов'язаний із впровадженням конкурентної моделі – ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку електричної енергії (РДДБ) [1, 2]. Одним із сегментів РДДБ є ринок міждержавної торгівлі електроенергією та розподілення пропускної спроможності міждержавних перетинів. Торгівля пропускною спроможністю здійснюється шляхом явного аукціону [3, 4] в умовах практично відсутньої конкуренції, що не сприяє ефективності функціонування та розвитку цього сегменту РДДБ. Відсутність ринкових механізмів використання наявної пропускної спроможності міждержавних перетинів в ОЕС України для потреб ринків електричної енергії сусідніх країн обумовлює актуальність розробки та впровадження способів та методів використання міждержавних електричних зв'язків для транзиту електроенергії між різними країнами через ОЕС України. Перш за все, мова йде про використання ОЕС України як транзитного вузла країнами «Вишеградської четвірки».

Зважаючи на зазначене, метою статті є опис розробленого способу розподілу пропускної спроможності міждержавного перетину між ринками електричної енергії на основі моделювання аукціону щодо купівлі пропускної спроможності з урахуванням двосторонньої подачі заявок на купівлю цього ресурсу.

Розглянемо найпростіший випадок, коли для участі в аукціоні щодо купівлі пропускної спроможності подаються цінові заявки дискретного типу, тобто з використанням однієї пари «ціна»–«обсяг». Нехай для участі в торгах подано множину

$$M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ} = (ЦЗ_1, ЦЗ_2, \dots, ЦЗ_i, \dots, ЦЗ_N) \quad (1)$$

цінових заявок на купівлю пропускної спроможності ЛЕП таких, що

$$ЦЗ_i = (Ц_i, P_i, H_i), \quad ЦЗ_i \in M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ}, \quad H_i \in ("A \rightarrow B", "B \rightarrow A"), \quad (2)$$

де  $Ц_i$  – ціна  $i$ -ї заявки;  $P_i$  – обсяг пропускної спроможності ЛЕП для  $i$ -ї цінової заявки;  $H_i$  – напрямок передавання електроенергії.

Шляхом аналізу атрибуту  $H_i$  загальна множина цінових заявок (1) розділяється на дві підмножини:

– підмножина цінових заявок

$$M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ} = (ЦЗ_1^{A \rightarrow B}, ЦЗ_2^{A \rightarrow B}, \dots, ЦЗ_i^{A \rightarrow B}, \dots, ЦЗ_{N(A \rightarrow B)}^{A \rightarrow B}) \quad (3)$$

на передавання електроенергії з області А до області Б, і згідно з (2) таких, що

$$ЦЗ_i^{A \rightarrow B} = (Ц_i, P_i, H_i), \quad ЦЗ_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ}, \quad H_i = "A \rightarrow B"; \quad (4)$$

– підмножина цінових заявок

$$M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ} = (ЦЗ_1^{B \rightarrow A}, ЦЗ_2^{B \rightarrow A}, \dots, ЦЗ_i^{B \rightarrow A}, \dots, ЦЗ_{N(B \rightarrow A)}^{B \rightarrow A}) \quad (5)$$

на передавання електроенергії із області Б до області А, та згідно з (2) таких, що

$$ЦЗ_i^{B \rightarrow A} = (Ц_i, P_i, H_i), \quad ЦЗ_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ}, \quad H_i = "B \rightarrow A". \quad (6)$$

Для отриманих підмножин цінових заявок визначаються значення сумарного попиту на пропускну спроможність ЛЕП окремо для напрямку з області А до Б  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$  та з області Б до А  $P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$

$$P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} = \sum_{i=1}^{N(A \rightarrow B)} P_i, \quad P_i \in ЦЗ_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ}; \quad P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} = \sum_{i=1}^{N(B \rightarrow A)} P_i, \quad P_i \in ЦЗ_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ}. \quad (7)$$

Розраховані за формулою (7) значення  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$  та  $P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$  порівнюються між собою. У випадку, коли  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} = P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ , потоки електроенергії з двох областей компенсують один одного і значення фактичного потоку електроенергії через транзитну лінію дорівнюватиме нулю. В даному випадку відсутні обмеження на обсяги торгів та апіорі приймаються всі цінові заявки, що відповідають вимогам торгів. Необхідність у проведенні аукціону виникає лише при застосуванні обмеження мінімальної ціни з використанням функції собівартості транзиту електроенергії по ЛЕП.

Якщо  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ , то, за умови прийняття всіх поданих на аукціон пропускної спроможності ЛЕП цінових заявок, фактичне передавання електроенергії здійснюватиметься від області А до області Б. І навпаки, якщо  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} < P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ , то, за умови прийняття всіх поданих на аукціон пропускної спроможності ЛЕП цінових заявок, фактичне передавання електроенергії здійснюватиметься від області Б до області А.

Розглянемо детально ситуацію, коли  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ . Як показано на рис. 1, в цьому випадку для графіка попиту на пропуску спроможність транзиту (передавання) електроенергії з області А до області Б умовно виділяються наступні основні складові:

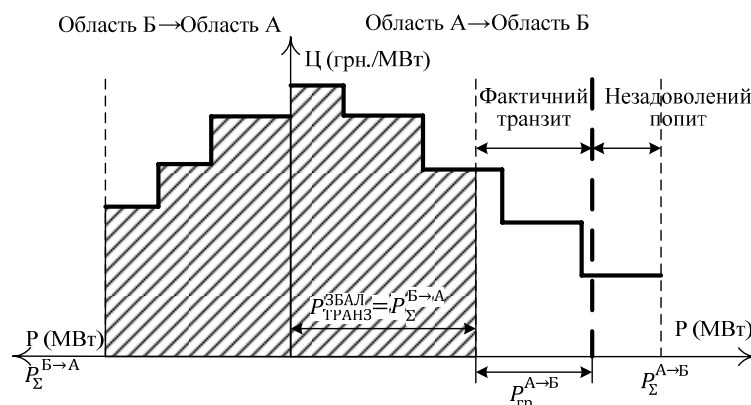


Рис. 1

– обсяги збалансованого транзиту  $P_{\Sigma}^{ЗБАЛ, \text{ТРАНЗ}}$ , які у випадку  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$  прирівнюються обсягам попиту на пропуску спроможність транзиту електроенергії із області Б до області А:  $P_{\Sigma}^{ЗБАЛ, \text{ТРАНЗ}} = P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ ;

– обсяги фактичного транзиту електроенергії;

– обсяги незадоволеного попиту на пропуску спроможність транзиту електроенергії із області А до області Б.

Як видно з рис. 1, значення обсягів фактичного транзиту залежить від співвідношень між значеннями  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$ ,  $P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$  та об-

меження пропускної спроможності транзиту електроенергії з області А до області Б  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$ . Так за умови

$P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} \leq P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$  обмеження на транзит електроенергії з області А до області Б відсутні. У цьому випадку результатом торгів є прийняття всіх допущених до аукціону цінових заявок на транзит електроенергії з області А до області Б. Тобто множина задоволених на аукціоні цінових заявок на ресурс пропускної спроможності ЛЕП в напрямку транзиту електроенергії від області А до області Б  $M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ(ЗАДОВ)}$  відповідатиме множині допущених до аукціону відповідних цінових заявок.

Якщо  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$ , то до множини задоволених на аукціоні цінових заявок на ресурс пропускної спроможності ЛЕП в напрямку транзиту електроенергії від області А до області Б входить лише частина допущених до аукціону відповідних цінових заявок із сумарними обсягами ( $P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$ ). Таким чином, виникає необхідність у розв'язанні задачі максимізації добробуту ринку пропускної спроможності ЛЕП для цінових заявок щодо транзиту електроенергії від зони А до зони Б.

На рис. 2 наведено алгоритм розрахунку результатів торгів на об'єднаному аукціоні пропускної спроможності з урахуванням подачі заявок щодо купівлі пропускної спроможності в обох напрямках транзиту.

Особливістю цього алгоритму є попереднє групування поданих цінових заявок окремо по кожному напрямку передачі електроенергії та визначення сумар-



Рис. 2

ного попиту окремо в кожному напрямку. Далі визначається напрямок фактичного транзиту електроенергії, а величина пропускної спроможності в цьому напрямку транзиту збільшується на величину сумарного попиту пропускної спроможності для передачі електроенергії в протилежному напрямку. Якщо в напрямку фактичного транзиту електроенергії сумарний попит виявляється більшим за встановлене перед цим значення пропускної спроможності, то здійснюється аукціон з відбором найкращих цінових заявок. У протилежному випадку всі подані для участі в торгах цінові заявки задовольняються.

Наведений спосіб стосується аналізу цінових заявок з купівлі пропускної спроможності одного між-системного зв'язку. Впровадження цінових заявок для використання ОЕС України як транзитного вузла потребує додаткового рівня оптимізації, на якому має виконуватися аналіз цінових заявок, що охоплюють кілька між-системних зв'язків, для узгодження транзитних перетоків між суміжними ринками електричної енергії через ОЕС України. Проте опис цього рівня оптимізації виходить за межі даної публікації.

Реалізація методу багатосторонньої торгівлі пропускною спроможністю міждержавних електричних зв'язків України надасть ефективний інструментарій для реалізації явного аукціону із залученням не тільки покупців та продавців виробленої в Україні електроенергії, але і учасників ринку, зацікавлених у можливостях ОЕС України здійснювати передачу електроенергії між іншими країнами. Тому використання можливостей ОЕС України як транзитного вузла призведе до збільшення як кількості зацікавлених учасників ринку, так і обсягів попиту на ресурси пропускної спроможності. Це, в свою чергу, посилить конкуренцію в цьому сегменті РДДБ України та підвищить ефективність використання ресурсів ОЕС України.

1. Блінов І.В. Зональне ціноутворення як спосіб врахування мережевих обмежень на біржі електроенергії // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – № 2(25). – С. 49 – 53.
2. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Балансуючий ринок електроенергії України та його математична модель // Технічна електродинаміка. – 2011. – №. 2. – С. 36-43.
3. ENTSO-E Capacity Allocation and Nomination System. Implementation Guide // ENTSO-E. – 2011. – Version 5.0. – 217 p.
4. Using Implicit Auctions to Manage Cross-Border Congestion: Decentralised Market Coupling // EuroPEX. – 2003. – 14 p.

УДК 621.3.011.74.005

#### **СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ АУКЦИОНА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ СЕЧЕНИЙ МЕЖДУ РЫНКАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**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](mailto:igorblinov@mail.ru)**

*Рассмотрен способ распределения пропускной способности межгосударственного сечения между рынками электрической энергии на основе моделирования аукциона по покупке пропускной способности в каждом направлении передачи электроэнергии через такое сечение. Приведенный способ позволяет реализовать многостороннюю межгосударственную торговлю электроэнергией с использованием ОЭС Украины как транзитного узла без необходимости фактического объединения рынков электрической энергии соседних стран. Библ. 4, рис. 2.*

**Ключевые слова:** рынок электроэнергии, распределение пропускной способности.

#### **AUCTION IMPLEMENTATION METHOD OF CAPACITY OF INTERSTATE SECTIONS BETWEEN ELECTRICITY MARKETS**

**I.V.Blinov, E.V.Parus**

**Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine,**

**pr. Peremohy 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine.**

**e-mail: [igorblinov@mail.ru](mailto:igorblinov@mail.ru)**

*The article describes a method for capacity allocation of interstate section between two electricity markets. It based on modeling of the auction for the purchase of capacity in both transmission directions of electricity through this section. The method is the basis of a process of the multilateral interstate electricity trade using IPS of Ukraine as a transit node without requiring the electricity markets coupling of neighboring countries. References 4, figures 2.*

**Keywords:** electricity market, capacity allocation.

1. Blinov I.V. Zonal pricing as a way of taking into account network constraints on the power exchange // Problemy zagalnoi enerhetyky. – 2011. – № 2(25). – Pp. 49 – 53. (Ukr)
2. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Parus Ye.V. Balancing electricity market of Ukraine and his mathematical model // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2011. – No 2. – Pp. 36–43. (Ukr)
3. ENTSO-E Capacity Allocation and Nomination System. Implementation Guide // ENTSO-E. – 2011. – Version 5.0. – 217 p.
4. Using Implicit Auctions to Manage Cross-Border Congestion: Decentralised Market Coupling // EuroPEX. – 2003. – 14 p.

Надійшла 17.02.2014