

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МІЖДЕРЖАВНИХ ПЕРЕТИНІВ МІЖ ДВОМА РИНКАМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

**І.В. Блінов**, канд. техн. наук, **Є.В. Парус**, канд. техн. наук, **О.Б. Рибіна**, канд. техн. наук, **С.Є. Танкевич**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна  
igorblinov@mail.ru

*Розглянуто математичну модель розподілу пропускної спроможності міждержавного перетину між двома ринками електричної енергії на основі розрахунків результатів аукціону щодо купівлі-продажу її в обох напрямках передавання електроенергії через цей перетин. Наведена математична модель є основою для реалізації моделей та методів багатосторонньої міждержавної торгівлі електроенергією з використанням ОЕС України як транзитного вузла без необхідності фактичного об'єднання ринків електричної енергії та погодження результатів аукціонів щодо купівлі-продажу електричної енергії сусідніх країн. Бібл. 4, рис. 2.*

**Ключові слова:** ринок електроенергії, пропускна спроможність, мережеві обмеження.

Сучасний етап розвитку оптового ринку електричної енергії України пов'язаний з переходом від діючої моделі «Єдиного покупця» шляхом її подальшої лібералізації до перспективної моделі повномасштабного конкурентного ринку – ринку двосторонніх договорів та балансуєчого ринку електричної енергії (РДДБ) [1, 2]. Одним із сегментів моделі РДДБ є ринок міждержавної торгівлі електроенергією та розподілення пропускної спроможності міждержавних перетинів. Вирішення проблеми забезпечення впровадження дієвих механізмів торгівлі електроенергією по міждержавних лінях та перетинах України з країнами Європи надає цінні сигнали та забезпечує рівний доступ до цього сегменту учасникам ринків електроенергії, оптимізує завантаження електростанцій та магістральних ліній і, як наслідок, підвищує ефективність експорту-імпорту електроенергії.

В Україні використання методів, заснованих на явних або неявних аукціонах з торгівлі пропускною спроможністю [3, 4], є практично неможливим внаслідок недостатньої конкуренції щодо експорту електроенергії. Це обумовлює необхідність впровадження нових методів торгівлі пропускною спроможністю, заснованих на визначенні цінних орієнтирів на вартість пропускної спроможності міждержавних перетинів ОЕС України та їх використанні на перехідних етапах впровадження РДДБ в Україні. Іншим напрямком подальшого розвитку ринку міждержавної торгівлі електроенергією в Україні є використання міждержавних електричних зв'язків для транзиту електроенергії між різними країнами через ОЕС України. При цьому впровадження можливостей транзиту електроенергії через ОЕС України призведе до збільшення кількості зацікавлених учасників ринку та обсягів попиту на ресурси пропускної спроможності, посилить конкуренцію в цьому сегменті РДДБ.

Враховуючи зазначене, розглянуто математичну модель розподілу пропускної спроможності міждержавного перетину між двома ринками електричної енергії на основі розрахунків результатів аукціону щодо купівлі-продажу пропускної спроможності в обох напрямках передавання електроенергії через міждержавний перетин.

Проаналізуємо ситуацію, коли на аукціон пропускної спроможності надаються заявки на транзит електроенергії в різних напрямках, що відображає купівлю пропускної спроможності при міждержавній торгівлі електричною енергією.

Нехай укладено договори на постачання електроенергії з зони А до зони Б сумарним обсягом  $V_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$ , а з зони Б до зони А – сумарним обсягом  $V_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ . У дійсності такі перетоки взаємно компенсуватимуться, і результуючий перетік електроенергії через транзитну ЛЕП відповідатиме різниці протилежно спрямованих обсягів:

$$V_{\Sigma}^{\text{ЛЕП}} = |V_{\Sigma}^{A \rightarrow B} - V_{\Sigma}^{B \rightarrow A}|.$$

Надходження заявок на транзит електроенергії через ЛЕП у протилежному напрямку фактично спричиняє розвантаження лінії, і за умови  $V_{\Sigma}^{A \rightarrow B} = V_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$  перетоки електроенергії

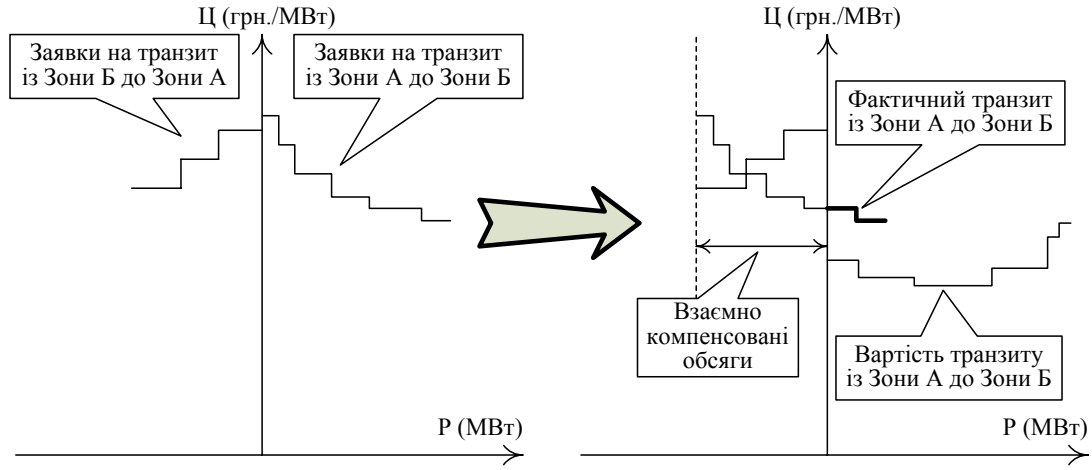


Рис. 1

через ЛЕП відсутні. Таким чином, обсяги транзиту електроенергії у протилежних напрямках на аукціоні пропускної спроможності ЛЕП мають взаємно компенсуватися. Графічну інтерпретацію цього процесу показано на рис. 1.

Слід зазначити, що графіки функцій вартості транзиту електроенергії через міжсистемні зв'язки можуть суттєво відрізнитися. Тому на аукціоні пропускної спроможності ЛЕП із заявками на транзит електроенергії у протилежних напрямках необхідно визначити як фактичні обсяги, так і напрямок фактичних перетоків електроенергії.

Загальна послідовність проведення торгів у цьому випадку на першому етапі передбачає розділення заявок на ресурс пропускної спроможності ЛЕП у групи окремо за кожним напрямком транзиту з подальшим обчисленням сумарних обсягів транзиту електроенергії за кожним напрямком з метою визначення фактичного напрямку транзиту. Далі виконується процедура торгівлі пропускною спроможністю ЛЕП у визначеному напрямку з використанням множини некомпенсованих заявок та обраного графіка вартості транзиту.

Таким чином, необхідним є перетворення аукціону пропускної спроможності у двох напрямках в аукціон в одному напрямку. Розглянемо математичну постановку цієї задачі, де для кожного з напрямків транзиту розв'язується задача максимізації добробуту ринку:

$$\begin{aligned} \sum_{A \rightarrow B} C_i^{\text{PC}} \times P_i^{\text{PC}} &\rightarrow \max \\ \sum_{B \rightarrow A} C_j^{\text{PC}} \cdot P_j^{\text{PC}} &\rightarrow \max. \end{aligned}$$

Відповідно метою компенсації заявок на транзит електроенергії у протилежних напрямках є мінімізація некомпенсованого добробуту:

$$\left| \sum_{A \rightarrow B} C_i^{\text{PC}} \times P_i^{\text{PC}} - \sum_{B \rightarrow A} C_j^{\text{PC}} \times P_j^{\text{PC}} \right| \rightarrow \min. \quad (1)$$

Результатом оптимізації цільової функції (1) є множина заявок на транзит електроенергії в напрямку фактичного перетоку з “найгіршими” (вищими) цінами. Далі задача торгівлі пропускною спроможністю ЛЕП розв'язується як оптимізація транзитних потужностей у одному напрямку.

При лінійній постановці задачі оптимізація цільової функції виконується за один крок шляхом сортування поданих на аукціон цінових заявок. Розглянемо найпростіший випадок, коли для участі в аукціоні подаються цінові заявки дискретного типу, тобто з використанням

однієї пари «ціна» – «обсяг». Нехай для участі у торгах подано множину  $M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ} = (\text{ЦЗ}_1, \text{ЦЗ}_2, \dots, \text{ЦЗ}_i, \dots, \text{ЦЗ}_N)$  цінових заявок на купівлю пропускної спроможності ЛЕП, а саме:

$$\text{ЦЗ}_i = (\text{Ц}_i, P_i, H_i), \text{ЦЗ}_i \in M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ}, H_i \in ("A \rightarrow B", "B \rightarrow A"),$$

де  $\text{Ц}_i$  – ціна  $i$ -ї цінової заявки;  $P_i$  – обсяг пропускної спроможності ЛЕП для  $i$ -ї цінової заявки;  $H_i$  – напрямок транзиту електроенергії.

Шляхом аналізу атрибуту  $H_i$  загальна множина цінових заявок  $M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ}$  розділяється на дві підмножини:

– підмножина цінових заявок  $M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ} = (\text{ЦЗ}_1^{A \rightarrow B}, \text{ЦЗ}_2^{A \rightarrow B}, \dots, \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B}, \dots, \text{ЦЗ}_{N(A \rightarrow B)}^{A \rightarrow B})$  на транзит електроенергії з зони А до зони Б:  $\text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} = (\text{Ц}_i, P_i, H_i), \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ}, H_i = "A \rightarrow B"$ ;

– підмножина цінових заявок  $M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ} = (\text{ЦЗ}_1^{B \rightarrow A}, \text{ЦЗ}_2^{B \rightarrow A}, \dots, \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A}, \dots, \text{ЦЗ}_{N(B \rightarrow A)}^{B \rightarrow A})$  на транзит електроенергії з зони Б до зони А:  $\text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} = (\text{Ц}_i, P_i, H_i), \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ}, H_i = "B \rightarrow A"$ .

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

$$\begin{aligned} P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} &= \sum_{i=1}^{N(A \rightarrow B)} P_i, P_i \in \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ} \\ P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} &= \sum_{i=1}^{N(B \rightarrow A)} P_i, P_i \in \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ} \end{aligned} \quad (2)$$

Розраховані за формулою (2) 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 зон компенсують один одного і значення фактичного потоку електроенергії через транзитну лінію дорівнюватиме нулю. У цьому випадку відсутні обмеження на обсяги торгів і априорі 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 фактичний транзит електроенергії здійснюватиметься від зони А до зони 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, фактичний транзит електроенергії здійснюватиметься від зони Б до зони А.

Розглянемо детально ситуацію, коли  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ . На рис. 1 показано, що у цьому випадку для графіка попиту на пропускну спроможність транзиту електроенергії з зони А до зони Б умовно виділяються такі основні складові:

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

$$P_{\text{ТРАНЗ}}^{\text{ЗБАЛ}} = P_{\Sigma}^{B \rightarrow A};$$

– обсяги фактичного транзиту електроенергії;

– обсяги незадоволеного попиту на пропускну спроможність транзиту електроенергії з зони А до зони Б.

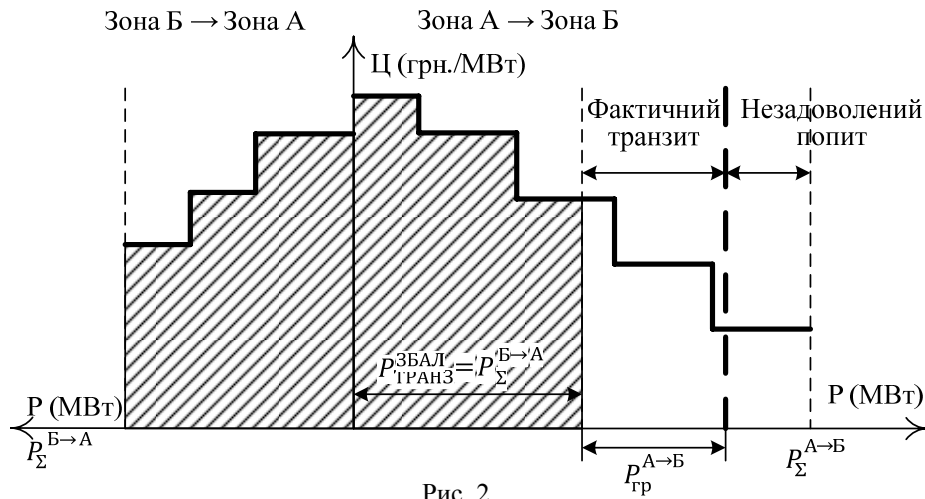


Рис. 2

З рис. 2 видно, що значення обсягів фактичного транзиту залежить від співвідношень між значеннями  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$ ,  $P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$  та обмеженням пропускної спроможності транзиту електроенергії з зони А до зони Б  $P_{ГР}^{A \rightarrow B}$ . Так, за умови  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} \leq P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{ГР}^{A \rightarrow B}$  обмеження на транзит електроенергії з зони А до зони Б відсутні. У цьому випадку результатом торгів є прийняття всіх допущених до аукціону цінових заявок на транзит електроенергії з зони А до зони Б. Тобто множина задоволених на аукціоні цінових заявок на ресурс пропускної спроможності ЛЕП у напрямку транзиту електроенергії від зони А до зони Б  $M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ(ЗАДОВ)}$  відповідатиме множині допущених до аукціону відповідних цінових заявок:

$$M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ(ЗАДОВ)} \equiv M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ} = \forall ЦЗ_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ}.$$

Якщо  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{ГР}^{A \rightarrow B}$ , то до множини задоволених на аукціоні цінових заявок на ресурс пропускної спроможності ЛЕП у напрямку транзиту електроенергії від зони А до зони Б входить лише частина допущених до аукціону відповідних цінових заявок із сумарними обсягами  $(P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{ГР}^{A \rightarrow B})$ . 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:

$$\begin{cases} \sum_i^{(A \rightarrow B)} P_i \cdot Ц_i \rightarrow \max, (P_i, Ц_i) \in ЦЗ_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ} \\ \left( \sum_i^{(A \rightarrow B)} P_i \right) \leq (P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{ГР}^{A \rightarrow B}) \end{cases} \quad (3)$$

Задача оптимального відбору цінових заявок на ресурс пропускної спроможності ЛЕП у напрямку транзиту електроенергії від зони А до зони Б за моделлю (3) фактично означає вибір цінових заявок з найвищою ціною та сумарними обсягами, що не перевищують значення  $(P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{ГР}^{A \rightarrow B})$ .

У випадках, коли  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} < P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ , задача оптимального задоволення попиту на ресурс транзиту електроенергії через міжсистемний електричний зв'язок розв'язується аналогічно.

Загальний алгоритм розв'язання задачі оптимального задоволення попиту на ресурс транзиту електроенергії через міжсистемний електричний зв'язок за наявності попиту в обидва напрямки має такий вигляд.

1. Розподіл загальної множини цінових заявок  $M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ}$  на дві підмножини  $M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ}$  та  $M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ}$  окремо для кожного напрямку транзиту:

$$M_{A \leftrightarrow B}^{ЦЗ} \equiv M_{A \rightarrow B}^{ЦЗ} \cup M_{B \rightarrow A}^{ЦЗ},$$

$$\begin{cases} M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ}} = (\text{ЦЗ}_1^{A \rightarrow B}, \text{ЦЗ}_2^{A \rightarrow B}, \dots, \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B}, \dots, \text{ЦЗ}_{N(A \rightarrow B)}^{A \rightarrow B}), \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} = (\text{Ц}_i, P_i, H_i), \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ}}, H_i = "A \rightarrow B" \\ M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ}} = (\text{ЦЗ}_1^{B \rightarrow A}, \text{ЦЗ}_2^{B \rightarrow A}, \dots, \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A}, \dots, \text{ЦЗ}_{N(B \rightarrow A)}^{B \rightarrow A}), \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} = (\text{Ц}_i, P_i, H_i), \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ}}, H_i = "B \rightarrow A" \end{cases}$$

2. Визначення сумарного попиту на ресурс пропускної спроможності міжсистемного електричного зв'язку окремо за кожним напрямком транзиту:

$$\begin{cases} P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} = \sum_{i=1}^{N(A \rightarrow B)} P_i, P_i \in \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ}} \\ P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} = \sum_{i=1}^{N(B \rightarrow A)} P_i, P_i \in \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ}} \end{cases}$$

3. Оптимальний вибір цінових заявок залежно від співвідношень між  $P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}$  та  $P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}$ :

$$\begin{cases} M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ(ЗАДОВ)}} \ni \left\{ \begin{array}{l} \forall \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ}}, P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} = P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} \\ \forall \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ}}, (P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}) \wedge (P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} \leq P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{\text{ГР}}^{A \rightarrow B}) \\ \sum_i^{(A \rightarrow B)} P_i \cdot \text{Ц}_i \rightarrow \max, (P_i, \text{Ц}_i) \in \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ}}, (P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A}) \wedge (P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} > P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{\text{ГР}}^{A \rightarrow B}) \\ \left( \sum_i^{(A \rightarrow B)} P_i \right) \leq (P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} + P_{\text{ГР}}^{A \rightarrow B}) \end{array} \right. ; \\ M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ(ЗАДОВ)}} \ni \left\{ \begin{array}{l} \forall \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ}}, P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} = P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} \\ \forall \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ}}, (P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} > P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}) \wedge (P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} \leq P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} + P_{\text{ГР}}^{B \rightarrow A}) \\ \sum_i^{(B \rightarrow A)} P_i \cdot \text{Ц}_i \rightarrow \min, (P_i, \text{Ц}_i) \in \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ}}, (P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} > P_{\Sigma}^{A \rightarrow B}) \wedge (P_{\Sigma}^{B \rightarrow A} > P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} + P_{\text{ГР}}^{B \rightarrow A}) \\ \left( \sum_i^{(B \rightarrow A)} P_i \right) \geq (P_{\Sigma}^{A \rightarrow B} + P_{\text{ГР}}^{B \rightarrow A}) \end{array} \right. \end{cases}$$

Питання принципів ціноутворення на ринку пропускної спроможності міжсистемного електричного зв'язку у випадку подання цінових заявок на транзит електроенергії за двома напрямками має узгоджуватися при укладанні міждержавних угод на здійснення торговельних операцій з імпорту/експорту електроенергії. Залежно від рівня інтеграції ринків електроенергії різних країн у сегменті міждержавного імпорту/експорту електроенергії можливі два основні варіанти визначення маржинальних цін.

1. Визначення вартості ресурсу пропускної спроможності ЛЕП окремо за кожним напрямком транзиту електроенергії як вартості найдешевшої прийнятої цінової заявки у відповідному напрямку:

$$\begin{cases} \text{Ц}_i^{\text{ГРАН}} = \min(\text{Ц}_i \in \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ(ЗАДОВ)}}) \\ \text{Ц}_i^{\text{ГРАН}} = \min(\text{Ц}_i \in \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ(ЗАДОВ)}}) \end{cases}$$

2. Визначення єдиної для обох напрямків транзиту електроенергії вартості ресурсу пропускної спроможності ЛЕП як вартості найдешевшої прийнятої цінової заявки в обох напрямках:

$$\text{Ц}_{A \leftrightarrow B}^{\text{ГРАН}} = \min\left(\min(\text{Ц}_i \in \text{ЦЗ}_i^{A \rightarrow B} \in M_{A \rightarrow B}^{\text{ЦЗ(ЗАДОВ)}}), \min(\text{Ц}_i \in \text{ЦЗ}_i^{B \rightarrow A} \in M_{B \rightarrow A}^{\text{ЦЗ(ЗАДОВ)}})\right).$$

Таким чином, наведена математична модель розрахунку результатів аукціону пропускної спроможності за одним міждержавним електричним зв'язком дає змогу запровадити цінові заявки на передавання електроенергії в обох напрямках на аукціоні пропускної спро-

жності ЛЕП, що є основою реалізації процесу багатосторонньої міждержавної торгівлі електроенергією з використанням ОЕС України як транзитного вузла без необхідності узгоджувати результати торгів на ринках електроенергії різних країн. При цьому для організації багатосторонніх торгів ресурсами пропускної спроможності міждержавних зв'язків з використанням ОЕС України як єдиного транспортного вузла необхідним є формування додаткового рівня оптимізації для узгодження транзитних перетоків між суміжними ринками електричної енергії через 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., Корхмазов Г.С., Попович В.І.* Рольова модель конкурентного оптового ринку електричної енергії в Україні: концептуальна схема, сегменти та ролі учасників // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 25. – С. 5–13.
3. *ENTSO-E* Capacity Allocation and Nomination System (ECAN). Implementation Guide // ENTSO-E. – 2011 – Version 5.0. – P. 217.
4. *Using Implicit Auctions to Manage Cross-Border Congestion: Decentralised Market Coupling* // EuroPEX. – 2003. – P. 14.

УДК 621.316

**І.В. Блінов**, канд. техн. наук, **Е.В. Парус**, канд. техн. наук, **О.Б. Рыбина**, канд. техн. наук, **С.Е. Танкевич**, канд. техн. наук

Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

#### **Математическая модель распределения пропускной способности межгосударственных сечений между двумя рынками электрической энергии**

*Одним из сегментов модели рынка двусторонних договоров и балансирующего рынка Украины является рынок межгосударственной торговли электроэнергией и распределение пропускной способности межгосударственных сечений. Решение проблем по обеспечению внедрения действенных механизмов торговли электроэнергией по межгосударственным линиям и сечениям Украины со странами Европы дает ценовые сигналы и обеспечивает равный доступ к этому сегменту участникам рынков электроэнергии, оптимизирует загрузку электростанций и магистральных линий и, как следствие, повышает эффективность экспорта-импорта электроэнергии.*

*В статье приведено описание математической модели распределения пропускной способности межгосударственного сечения между двумя рынками электрической энергии на основе расчетов результатов аукциона на покупку-продажу пропускной способности в обоих направлениях передачи электрической энергии через такое сечение. Предложена общая последовательность проведения торгов пропускной способностью, которая на первом этапе предусматривает разделение заявок на ресурс пропускной способности линий электропередачи в группы отдельно по каждому направлению передачи с последующим вычислением суммарных объемов передачи электрической энергии по ним с целью определения его фактического направления. Далее, осуществляется процедура торговли пропускной способностью линий электропередачи в определенном направлении с использованием множества некомпенсированных заявок и выбранного графика стоимости передачи. То есть реализуется преобразование аукциона пропускной способности в двух направлениях в односторонний аукцион.*

*Предложенная математическая модель расчета результатов аукциона на пропускную способность по одному межгосударственному сечению позволяет внедрить ценовые заявки на передачу электрической энергии в обоих направлениях. Такой подход является основой реализации процесса многосторонней межгосударственной торговли электрической энергией с использованием ОЕС Украины как транзитного узла без необходимости фактического объединения рынков электрической энергии и согласования результатов аукционов по покупке-продаже электрической энергии соседних стран. Библ. 4, рис. 2.*

**Ключевые слова:** рынок электроэнергии, пропускная способность, сетевые ограничения.

**I.V. Blinov, E.V. Parus, O.B. Rybina, S.E. Tankevych**

Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

#### **The mathematical model of capacity allocation of interstate sections between two electricity markets**

*One of the segments of the bilateral contracts and balancing market (BCBM) model of Ukraine is the interstate electricity market and allocation of the capacity of the interstate sections. Problem-solving to ensure the implementation of effective mechanisms of electricity trade by interstate lines and sections of Ukraine with the European countries gives price signals and provides equal access to this segment for the electricity market participants, optimizes load of power plants and transmission lines, and as a result increases the efficiency of electricity export and import.*

*The article describes a mathematical model of capacity allocation of interstate section between two electricity markets. It based on calculation of results of the auction for the purchase and sale of capacity in both directions of transmission*

*of electricity through this section. A general sequence of capacity trading is offered. The first stage provides the separation of bids on resource of capacity of transmission lines in the groups separately for each direction of transmission. Next is the calculation of the total volume of electric energy that is transferred to determine its actual direction. Next is the procedure of trade of capacity of transmission lines in a certain direction using a variety of bids and selected schedule of transmission costs. Thus, the transformation of bilateral auction in a one-sided auction is realized.*

*The proposed mathematical model allows to implement interstate bids for electric power transmission in both directions. This approach is the basis of a process of the multilateral interstate electricity trade using UES of Ukraine as a transit node without requiring the electricity markets combining and reconciling the results of auctions for the purchase and sale of electricity of neighboring countries. References 4, figures 2.*

**Key words:** electricity market, transmission capacity, network constraints.

Надійшла 27.11.2013

Received 27.11.2013