

УДК 339.17:339.33:621.31

І.В. БЛІНОВ

Інститут електродинаміки Національної академії наук України
пр. Перемоги, 56, Київ, 03680, Україна

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНКУРЕНТНОГО РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

За матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України
26 грудня 2012 року

Наведено огляд результатів досліджень з розроблення ролювих моделей конкурентного ринку електричної енергії України, методів конкурентного відбору виробників та постачальників електроенергії, розв'язання задачі оптимізації балансу активних потужностей на балансуєчому ринку електричної енергії, методів визначення витрат електростанцій на підтримання стану готовності до надання допоміжних послуг з регулювання частоти й напруги в ОЕС України.

Ключові слова: ринок електроенергії, балансуєчий ринок, допоміжні послуги, об'єктно-орієнтована модель.

Сьогодні розвиток оптового ринку електричної енергії (ОРЕ) в Україні пов'язаний із впровадженням конкурентної моделі — ринку двосторонніх договорів та балансуєчого ринку (РДДБ) [1, 2]. До основних сегментів, що відрізняють модель РДДБ від наявної моделі «Єдиного покупця», належать: ринок «на добу наперед», балансуєчий ринок електричної енергії, ринок допоміжних послуг. Слід зазначити, що розроблення моделі ринку електроенергії країни або регіону може ґрунтуватися, певною мірою, на моделях, що функціонують в інших країнах і мають аналогічний розподіл сегментів ринку та подібні ролі учасників. Проте модель ринку електричної енергії, навіть за наявності однакових сегментів ринку, на практиці не може повністю повторювати жодну іншу модель. Це пов'язано з особливостями, наприклад, правової й регуляторної структур електроенергетики країни, економічних засад функціонування

та реалізації розрахунків на ринку, технічних правил функціонування ринку, ролей учасників ринку, правил комерційного обліку, кодексів керування електричними мережами тощо. Відсутність формалізованого підходу до опису моделі функціонування ринку електричної енергії певної країни зумовлює ускладнення визначення кінцевої архітектури ринку, розроблення остаточних правил ринку, опису ділових і технологічних процесів, що мають бути реалізовані. Результати досліджень свідчать, що для опису моделі функціонування ринку електроенергії і практичної реалізації всіх процесів, що відбуваються на ньому, а також визначення й опису ролей і функцій, притаманних різним учасникам, доцільним є застосування формалізованих підходів, що ґрунтуються на використанні сучасних інформаційних технологій, досвіді та загальних підходах до опису функціонування наявних ринків електричної енергії, а також враховують особливості правил ринку електроенергії, в якому запроваджують таку модель.

© І.В. Блінов, 2013

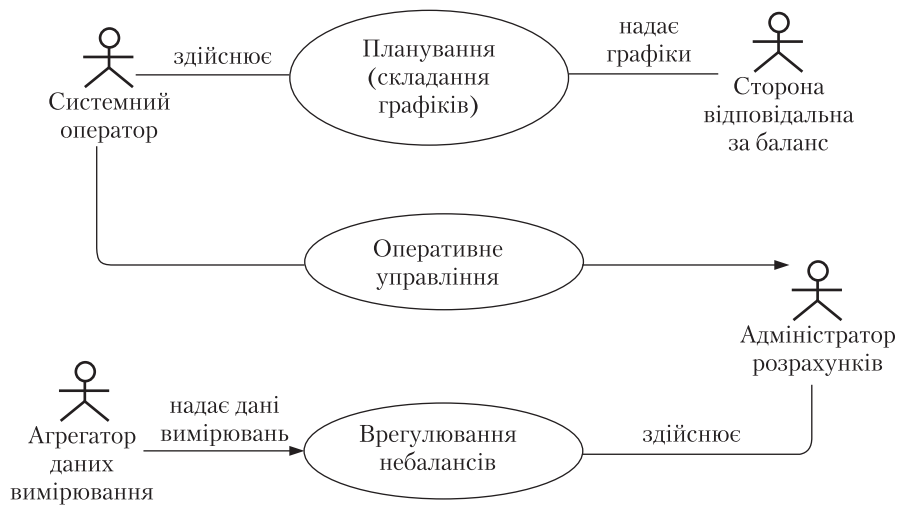


Рис. 1. Діаграма прецедентів «Керування енергосистемою»

У ході виконання наукових робіт з аналізу принципів функціонування ринків електричної енергії, міжнародних стандартів, а також загальних підходів до побудови моделей ринків електроенергії визначено необхідність застосування сучасної методології об'єктно-орієнтованого моделювання ринків електричної енергії (UMM – Unified Modeling Methodology UN/CEFACT), заснованої на використанні уніфікованої мови моделювання (UML – Unified Modeling Language), з метою застосування цієї моделі як частини процесу адміністративного контролю та системи керування РДДБ [1, 2]. Побудовані моделі в рамках науково-дослідних робіт структурують РДДБ на сфері процесів, процеси та дії; надають візуальне відображення моделі й основних правил функціонування РДДБ; забезпечують розуміння функціонування РДДБ для всіх користувачів і постачальників програмного забезпечення; формалізують опис процесів функціонування РДДБ відповідно до міжнародних стандартів; надають візуальне представлення вимог до інформаційного обміну; слугують первинною архітектурою при створенні автоматизованих інформаційних систем керування сегментами РДДБ України.

Як приклад розробленої об'єктно-орієнтованої моделі сегмента ринку електричної

енергії на рис. 1 наведено діаграму бізнес-сфери «Керування енергосистемою», створену згідно з рекомендаціями ENTSO-E та відповідно до проекту правил РДДБ, яка поділяється на три сфери процесів: планування, оперативне керування, врегулювання небалансів [3].

На ринку РДДБ України сторони, відповідальні за баланс (СВБ), до яких належать учасники ринку, електропередавальна та електророзподільні організації, оператор ринку «на добу наперед», несуть фінансову відповідальність за свій небаланс відповідно до правил ринку. При цьому вони мають максимально забезпечувати збалансованість своїх договірних обсягів продажу й купівлі електричної енергії та фактичних обсягів її виробництва і споживання. Фізичне врегулювання небалансів в об'єднаній електроенергетичній системі (ОЕС) України здійснює системний оператор (СО) на балансувальному ринку. Небаланс СВБ розраховує адміністратор розрахунків, виходячи з обсягів купівлі-продажу електричної енергії за всіма двосторонніми договорами та результатами роботи ринку «на добу наперед», а також акцептованих заявок і пропозицій на балансувальному ринку та фактичних обсягів виробництва і споживання електроенергії відповідно до даних, що надаються агрега-

тором даних вимірювань. Детальний опис рольової моделі функціонування як РДДБ у цілому, так і окремих його сегментів передбачає побудову моделей кожної сфери бізнес-процесів, відповідних процесів та взаємодій. У ході науково-дослідних робіт виконано дослідження щодо побудови і розроблено рольову модель РДДБ України, сегментів складання графіків учасників ринку, комерційного обліку й балансувального ринку електричної енергії України з урахуванням міжнародних та європейських вимог і понять, які використовують у нормативних і законодавчих документах України щодо моделі РДДБ [1–4]. Отже, такі моделі є основою для розроблення технічних специфікацій, інформаційних моделей та інформаційно-технологічних систем керування роботою сегментів ринку електричної енергії, а також упровадження систем електронного бізнесу.

Балансуєчий ринок електричної енергії (БР) є одним із центральних сегментів РДДБ України. На БР забезпечується: планування режиму роботи ОЕС України на наступну добу; балансування обсягів виробництва і споживання електроенергії наступної та поточної діб; розрахунок платежів за результатами роботи балансуєчого ринку та виставлення відповідних рахунків. Ці функції, а також фізичне врегулювання небалансів виконує СО як оператор балансуєчого ринку (ОБР).

Основною задачею, яку потрібно вирішувати під час запровадження БР, є конкурентний відбір ресурсів на такому ринку. Ця задача, як складова комплексної задачі економічної диспетчеризації, у свою чергу, складається з підзадач щодо вибору складу енергоагрегатів для формування балансу активних потужностей на БР; вибору складу енергоагрегатів для формування балансу реактивних потужностей та забезпечення оптимального режиму напруг у вузлах ОЕС України; складання диспетчерських графіків завантаження й розвантаження генераторів для керування ОЕС у режимі реального часу. Формально поставлені задачі

розв'язують шляхом моделювання одностороннього аукціону для виробників електроенергії на певний розрахунковий період (на 1 годину) [5, 6]. У процесі формування математичної моделі одностороннього аукціону слід узгодити метод оптимального вибору ресурсу з типами цінових заявок, що надаються на БР. Варто також окремо виділити задачу розподілу міждержавних перетоків, яку розв'язують узгоджено із задачею оптимізації ОЕС з урахуванням пропускну здатності міждержавних зв'язків і міждержавних угод щодо імпорту й експорту електричної енергії.

Цільова функція задачі відбору ресурсів має забезпечувати балансування прогнозованої системним оператором величини сумарного споживання в ОЕС, урахуваючи втрати, актуальні системні вимоги і задані обмеження за критеріями мінімізації вартості додаткового виробництва та зменшеного споживання електроенергії. Система обмежень, у загальному вигляді, складається з обмежень рівності (формуються на основі моделі усталеного режиму на розрахунковий період часу) та обмежень нерівності (технологічні й режимні обмеження на виробництво та розподіл електроенергії). Математична модель усталеного режиму ОЕС визначає баланси потоків активної й реактивної потужності у вузлах заступної схеми ОЕС, падіння напруг і втрати потужності в елементах цієї схеми. Загальний баланс активних потужностей в ОЕС складають з урахуванням договорів, укладених на ринку двосторонніх договорів та на ринку «на добу наперед». Обмеження у вигляді нерівностей на виробництво електроенергії враховують через ряд факторів. По-перше, мінімальний рівень виробництва активної потужності генератора визначається значенням величини мінімально стійкого навантаження та режиму виробництва/споживання реактивної потужності. По-друге, максимальний рівень виробництва активної потужності визначається технологічною межею генерування та рівнем виробництва/споживання реактивної потужності.

По-третє, заступна схема енергоагрегатів, для яких додатково виконують оптимізацію за реактивною потужністю, зумовлює ряд обмежень на виробництво/споживання цієї складової. І, нарешті, обмеження на зміну рівня потужності енергоагрегата враховує рівень виробництва електроенергії за попередній розрахунковий період часу та швидкість набору/скидання навантаження генератором. Обмеження у вигляді нерівностей на розподіл електричної енергії формуються з обмежень на рівні напруг у вузлах ОЕС та рівні струмів у перетинах ОЕС. Враховують також обмеження, пов'язані із засобами регулювання режимних параметрів та їх впливом на режимні параметри ОЕС.

Слід зазначити, що цільова функція задачі БР є лінійною, тоді як система обмежень — суттєво нелінійна. У зв'язку з цим оптимізацію виконують як ітераційну процедуру, що передбачає лінеаризацію обмежень і розв'язання задачі лінійного програмування на кожній з ітерацій. Проте специфіка ОЕС України не дає змоги отримати адекватну модель БР електроенергії України прямим використанням класичних градієнтних методів чи сучасних похідних методу логарифмічних бар'єрних функцій, які з цією метою широко застосовують в Європі. Це зумовлено високим ступенем складності електричних мереж і високим рівнем різнотипності (за технологічними, економічними та паливними складовими) генерувальних потужностей. Так, математична модель БР має враховувати не лише обмеження на переток в лініях за умови нормального режиму роботи ОЕС України, а й величини перетоків за умовами статичної й динамічної стійкості системи в обтяжених і післяаварійних режимах. Ці та інші фактори потребують застосування комбінованих дискретно-лінійних методів оптимізації для формування математичної моделі БР України. Тому на етапі впровадження цього сегмента слід визначити найбільш прийнятні з наявних або запропонувати нові методи, що виконують оптимізацію як для дискретних, так і для не-

перервних параметрів. Запропонований з цією метою метод розв'язання задачі оптимізації балансу активних потужностей в ОЕС з використанням апарату коефіцієнтів втрат на основі одностороннього аукціону з купівлі-продажу електроенергії на БР дозволяє швидко визначити оптимальний склад генерувальних потужностей з урахуванням як питомої вартості видобутку електричної енергії, так і втрат на її транспортування від виробника до споживача без необхідності виконувати моделювання та оптимізацію режиму ОЕС [2, 5]. З огляду на особливість функціонування БР і можливості сучасних обчислювальних засобів слід зазначити, що попередній розрахунок значень коефіцієнтів втрат для кожної схеми транспортування та розподілу електроенергії не є критичним у часі й тому не створюватиме серйозних труднощів. Такий метод спрямований передусім на розроблення імітаційної моделі БР України для навчання учасників РДДБ роботи в цьому сегменті та визначення стратегії їхньої поведінки на РДДБ загалом.

Ринок електричної енергії «на добу наперед» (РДН) — ринок, на якому електричну енергію купують-продають у формі продуктів електроенергії на наступну після дня проведення торгів добу і функціонування якого забезпечує оператор ринку. В країнах Європи сегмент оптового ринку електроенергії «на добу наперед» реалізується на основі біржі електроенергії, де забезпечується конкурентний відбір виробників і постачальників електричної енергії [5]. При цьому основним критерієм оптимальності результатів таких торгів є максимізація «функції добробуту ринку» в цілому. На РДН розв'язують задачу визначення балансу між попитом і пропозицією на електричну енергію за допомогою розрахунку результату двостороннього аукціону з купівлі-продажу електроенергії, за яким визначають її маржинальну ціну та рівноважний обсяг [6, 7]. Графічний приклад визначення «добробуту ринку» без урахування мережевих обмежень наведено на рис. 2.

Задачу визначення переможців двостороннього аукціону формально подають задачею лінійної *дискретної* оптимізації за критеріями максимізації сумарної вартості виграшних лотів покупців активної потужності, мінімізації сумарної вартості виграшних лотів продавців активної потужності та мінімізації дисбалансу між задоволеними попитом і пропозицією на електричну енергію.

Критерії цільової функції розрахунку результатів аукціону з купівлі-продажу електроенергії передбачають мінімізацію дисбалансу між попитом і пропозицією на електричну енергію за умов максимізації сумарної вартості електроенергії, визначеної у виграшних заявках покупців, та мінімізації сумарної вартості електроенергії, визначеної у виграшних заявках продавців [6]. Цю задачу можна розв'язати методами лінійної, дискретної та комбінаторної оптимізації. Причому вибір методу оптимізації і спосіб формування маржинальної ціни безпосередньо впливає на стратегію роботи учасників цього сегменту ринку електричної енергії. Крім того, одним із найважливіших питань, пов'язаних із функціонуванням біржі електроенергії, є визначення типів заявок і пропозицій, що подаються від учасників двостороннього аукціону. Серед основних різновидів заявок і пропозицій на біржі електроенергії виділяють [8, 9]:

- *погодинні цінові заявки і пропозиції* щодо ціни та обсягів купівлі-продажу електричної енергії на елементарний розрахунковий період часу, наприклад, 1 годину;
- *блокові цінові заявки і пропозиції* щодо ціни та обсягів електроенергії для інтервалу часу в кілька годин;
- *зв'язані блокові заявки та пропозиції*, в яких окремі заявки або пропозиції у блоці пов'язані між собою так, що окрема (дочірня) заявка або пропозиція допускається до участі у двосторонньому аукціоні за умови прийняття іншої (материнської) заявки або пропозиції.

Варто зазначити, що саме тип заявок і пропозицій безпосередньо впливає як на

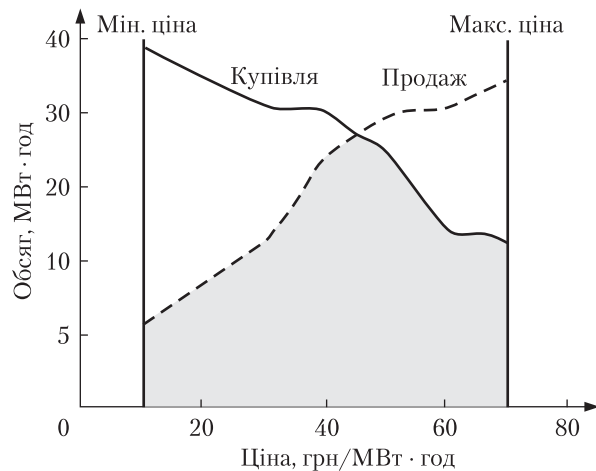


Рис. 2. Визначення маржинальної ціни та рівноважного обсягу купівлі-продажу електричної енергії на РДН

вибір методу оптимізації у ході розв'язання задачі двостороннього аукціону та спосіб визначення маржинальної ціни, так і на організацію функціонування РДН у цілому. Питання можливості використання окремих типів заявок в Україні під час впровадження РДН також слід узгоджувати з питаннями вибору методу оптимізації (використання цінових заявок дискретних типів потребує запровадження дискретних методів оптимізації), організаційно-правовими аспектами та питаннями взаємодії з балансуєм ринком. На основі виконаних наукових досліджень розроблено методи конкурентного відбору виробників і постачальників електричної енергії; визначено недоліки аналізу блокових заявок на європейських біржах, що призводять до їх «парадоксального прийняття» чи «парадоксального відхилення», а також запропоновано способи подолання таких протиріч [9].

Одним із першочергових етапів впровадження моделі РДДБ є також вирішення проблеми економічного розвитку електроенергетичної галузі України щодо забезпечення стимулів і встановлення технічних вимог до надання допоміжних послуг (ДП) учасниками ринку електричної енергії.

Ринок допоміжних послуг організують з метою придбання системним оператором ДП у їх постачальників для забезпечення як сталої й надійної роботи ОЕС України, так і якості електричної енергії відповідно до встановлених стандартів. Сьогодні в Україні визначено такий перелік ДП: первинне регулювання частоти й активної потужності, вторинне регулювання частоти й активної потужності, регулювання напруги енергоагрегатами електростанцій та автономний пуск блоків електростанцій. Аналіз технічних вимог до надання ДП електростанціями в Україні, а також особливостей плати за ці послуги свідчить, що передумов для створення конкурентного ринку ДП у нашій країні фактично немає, насамперед, унаслідок нестачі пропозицій, що пов'язано з недостатністю технологічних можливостей електростанцій щодо надання ДП. Тому формування ринку ДП має відбуватися в напрямі введення системи ціноутворення на основі відшкодування витрат постачальників ДП, при цьому підходить до оцінювання вартості наданих послуг мають враховувати технологічні особливості конкретної послуги в Україні. З огляду на це потрібне розроблення методів урахування витрат електростанцій при наданні ДП з регулювання частоти і напруги з метою формування на основі цих методів методології ціноутворення, яка, з одного боку, має зважати на особливості функціо-

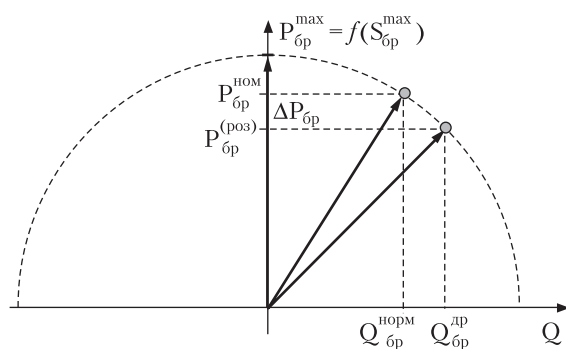


Рис. 3. Визначення величини зниження активної потужності при забезпеченні діапазону регулювання за реактивною потужністю

нування оптового ринку електроенергії України, а з іншого — давати можливість запровадити в нашій країні в майбутньому конкурентний ринок ДП. На основі аналізу світового досвіду, правил оптового ринку електричної енергії України та спираючись на проведені дослідження, запропоновано визначати витрати, пов'язані з підтриманням стану готовності i -го енергоагрегата електростанції до надання ДП з первинного і вторинного регулювання частоти, а також регулювання напруги в ОЕС України.

У разі первинного і вторинного регулювання частоти витрати електростанцій визначаються величиною втраченої вигоди, що виникає внаслідок необхідності утримання резерву активної потужності, яку можна було б використати для продажу на оптовому ринку незалежно від фактичного використання цього резерву при наданні ДП [10]. На основі виконаних досліджень встановлено, що компенсація за утримання резерву на завантаження для енергоагрегатів теплоелектростанцій, що працюють за ціновими заявками, слід розраховувати за формулою

$$\delta B = \begin{cases} P_{рез+} \cdot (C_p^{пс} - dC_г) & \text{при } C_p^{пс} > dC_г \\ 0 & \text{при } C_p^{пс} \leq dC_г \end{cases},$$

де $C_p^{пс}$ — гранична ціна системи, яка формується для розрахункової години на оптовому ринку електроенергії, грн/МВт·год; $dC_г$ — прирощена ціна палива, яку визначають на основі похідної функції витрат палива на виробництво електроенергії за рівнем навантаження енергоагрегата і вартості цього палива, грн/МВт·год; $P_{рез+}$ — обсяг резерву на завантаження енергоагрегата.

За співвідношення $C_p^{пс} > dC_г$ утримання резерву на завантаження спричинює появу втраченої вигоди. Навпаки, при $C_p^{пс} < dC_г$ робота енергоагрегата в режимі максимального навантаження є збитковою. Тому утримання резерву на завантаження в цьому випадку призводить до скорочення збитків від виробництва електроенергії, оскільки власнику енергоагрегата ТЕС вигідніше зменшувати рівень навантаження.

Поява «втраченої вигоди», що виникає в результаті забезпечення готовності до надання ДП з регулювання напруги, зумовлена необхідністю зниження активного навантаження енергоагрегата електростанції для підтримання заданого діапазону регулювання реактивної потужності $[Q_{бр}^{др(i)-}; Q_{бр}^{др(i)+}]$ [11]. Як видно з рис. 3, для виробників електричної енергії таке зниження активного навантаження енергоагрегата розраховують за формулою

$$\Delta P_{бр} = (P_{бр}^{ном(i)} - P_{бр}^{(роз)(i)}),$$

де $P_{бр}^{ном(i)}$ — номінальне значення активної потужності i -го енергоагрегата електростанції, що відповідає межі звичайного неоплачуваного діапазону регулювання реактивної потужності $[Q_{бр}^{ном-}; Q_{бр}^{ном+}]$, МВт; $P_{бр}^{(роз)(i)}$ — розрахункове значення активної потужності i -го енергоагрегата електростанції за відповідного максимального значення генерації чи споживання реактивної потужності в заданому діапазоні, МВт.

Розроблені методи дають змогу адекватно врахувати втрати електростанцій під час надання послуг з первинного і вторинного регулювання частоти, а також регулювання напруги в ОЕС України в підтриманні стану готовності до надання цих ДП енергоагрегатами електростанцій, що працюють на оптовому ринку електроенергії України.

Впровадження наведених способів та відповідної методології ціноутворення дозволяє вирішити проблему стимулювання виробників електричної енергії до надання ДП з первинного і вторинного регулювання частоти та регулювання напруги в ОЕС України.

Отже, практичне використання наведених у статті моделей і методів забезпечення функціонування РДДБ підвищує ефективність запровадження конкурентного ринку електричної енергії в Україні, дає можливість визначити остаточні правила його функціонування, забезпечити навчання учасників РДДБ роботи в нових умовах, реалізу-

вати та впровадити необхідні інформаційно-технологічні системи керування роботою сегментів РДДБ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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 // Праці ІЕД НАНУ. — 2010. — № 25. — С. 5–13.
2. Блінов І.В., Парус Є.В. Вимоги до математичного забезпечення балансуочого ринку електричної енергії України // Техн. електродинаміка. — 2012. — № 2. — С. 30–31.
3. Блінов І.В., Попович В.І. Гармонізована рольова модель європейського ринку електроенергії // Проблеми загальної енергетики. — 2011. — № 3(26). — С. 5–11.
4. Блінов І.В. Процеси інформаційного обміну при врегулюванні небалансів учасників конкурентного ринку електричної енергії України // Праці ІЕД НАНУ. — 2012. — № 31. — С. 155–158.
5. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Балансуючий ринок електроенергії України та його математична модель // Технічна електродинаміка. — 2011. — № 2. — С. 36–43.
6. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Визначення результатів аукціону з купівлі-продажу електричної енергії // Проблеми загальної енергетики. — 2010. — № 23. — С. 5–12.
7. Блінов І.В. Зональне ціноутворення як спосіб врахування мережевих обмежень на біржі електроенергії // Проблеми загальної енергетики. — 2011. — № 25. — С. 50–54.
8. Блінов І.В., Парус Є.В. Аспекти використання блокових заявок та пропозицій учасників на біржі електроенергії // Електропанорама. — 2011. — № 7–8. — С. 24–27.
9. Блінов І.В., Парус Є.В. Аспекти протиріч логіки прийняття та відхилення блокових заявок на біржі електроенергії: способи уникнення протиріч // Електропанорама. — 2010. — № 7–8. — С. 25–27.
10. Блінов І.В., Парус Є.В., Рибіна О.Б. Способи визначення плати електростанціям за готовність та фактичне надання послуг з первинного та вторинного регулювання частоти в Україні // Праці ІЕД НАНУ. — 2012. — № 33. — С. 128–133.
11. Блінов І.В., Парус Є.В. Визначення втрат електростанцій при наданні допоміжної послуги з регулювання напруги та реактивної потужності в ОЕС України // Праці ІЕД НАНУ. — 2012. — № 33. — С. 142–148.

И.В. Блинов

Институт электродинамики
Национальной академии наук Украины
пр. Победы, 56, Киев, 03680, Украина

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТНОГО
РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ

Приведен обзор результатов исследований по разработке ролевых моделей конкурентного рынка электрической энергии Украины, методов конкурентного отбора производителей и поставщиков электроэнергии, решения задачи оптимизации баланса активных мощностей на балансирующем рынке электрической энергии, методов определения потерь электростанций на поддержание состояния готовности к оказанию вспомогательных услуг по регулированию частоты и напряжения в ОЭС Украины.

Ключевые слова: рынок электроэнергии, балансирующий рынок, вспомогательные услуги, объектно-ориентированная модель.

I.V. Blinov

Institute of Electrodynamics
of National Academy of Sciences of Ukraine
56 Peremohy Ave., 03680, Kyiv, Ukraine

MODELS AND METHODS FOR THE
FUNCTIONING OF A COMPETITIVE
ELECTRICITY MARKET IN UKRAINE

The article describes the results of research of the role models development of the competitive market of electricity of Ukraine, the methods of competitive selection of electricity generators and suppliers, the balance optimization of active power on the balancing electricity market, the methods for determining of power losses for maintaining the state of readiness for providing the ancillary services for frequency and voltage control in the power system of Ukraine.

Keywords: electricity market, balancing market, ancillary services, object-oriented model.



Ігор БЛІНОВ

*Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник Інституту електродинаміки НАН України.*

У 2005 р. з відзнакою закінчив Донецький національний технічний університет, де здобув дві вищі освіти. В Інституті електродинаміки НАН України працює з 2005 р. У 2008 р. закінчив аспірантуру з поданням до захисту дисертаційної роботи «Визначення місць пошкоджень на лініях електропередачі високої напруги з використанням штучних нейронних мереж» (науковий керівник — академік НАН України О.В. Кириленко) і здобув у 2009 р. науковий ступінь кандидата технічних наук.

Є автором і співавтором 50 наукових праць.

Лауреат Премії Президента України для молодих учених у 2010 р. за науково-дослідну роботу

«Теорія та засоби побудови енергоефективних систем керування електроживленням локальних об'єктів».

Лауреат Премії Президії НАН України для молодих учених за науково-дослідну роботу «Використання методів штучного інтелекту і апарату нечіткої логіки для розв'язання задач запобігання та ліквідації аварійних ситуацій в електроенергетичних системах».

Коло наукових інтересів — дослідження моделей і методів функціонування конкурентного ринку електричної енергії, зокрема балансуємого ринку електричної енергії, ринку «на добу наперед», послуг з регулювання частоти та напруги.