

Г.А. Иванов, Начальник департамента гарантированного покупателя
Государственное предприятие «Энергорынок» Кабинета Министров Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЛИБЕРАЛИЗОВАННОГО РОЗНИЧНОГО РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ УКРАИНЫ

В статье приведены составляющие тарифов и цен у участников действующего в Украине оптового рынка электрической энергии. Приведены составляющие тарифов и цен у участников в либерализованном рынке электрической энергии. Даны рекомендации по возможным допущениям при моделировании розничного рынка. По результатам предварительно-проведенного моделирования, приведены графические материалы с указанием возможных долей составляющих в конечной цене потребителя. Приведены математические формулы, которые использованы в моделировании ценообразования на розничном рынке.

Ключевые слова: моделирование, рынок электроэнергии, розничный рынок электроэнергии, либерализация, тарифообразование.

Надійшла 10.04.2017
Received 10.04.2017

УДК 621.316

І.В. Блінов, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
Інститут електродинаміки НАН України
С.Є. Танкевич, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
Інститут електродинаміки НАН України

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПІДХОДИ ДО ОБ'ЄДНАННЯ УЧАСНИКІВ КОНКУРЕНТНОГО РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Широке розповсюдження розосереджених джерел енергії та розвиток конкурентних відносин в енергетиці спонукають до пошуку нових перспективних рішень щодо керування та балансування в енергетичних системах. Такими рішеннями стають віртуальні електричні станції (ViES) та балансуєчі групи (БГ). В статті викладено результати аналізу світового досвіду створення та використання ViES та балансуєчих груп. Розглянуто основне призначення та складові ViES, а також аспекти їх функціонування в залежності від призначення. Наведено основні функції БГ та проблеми, що вони дозволяють вирішувати.

Ключові слова: Smart Grid, віртуальна електрична станція, балансуєча група, балансування електроенергії, керування в енергетиці.

Вступ. Лібералізація ринку, перспектива розповсюдження розосереджених джерел енергії (РДЕ), зокрема і відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), розвиток інформаційних технологій, а також перспектива об'єднання із європейською енергетичною системою потребує пошуку нових ефективних рішень в електроенергетиці України, зокрема щодо підвищення керованості та балансування електроенергії, як важливої та обов'язкової умови функціонування будь якого енергооб'єднання.

Для вирішення технічних і економічних питань, що пов'язані із інтегруванням РДЕ в електроенергетичну систему (ЕЕС), залученням РДЕ до участі в ринку електроенергії (РЕ), потребою врахування «переривчастого» характеру значень потужності ВДЕ та балансування електроенергії в провідних країнах світу запроваджені механізми об'єднання учасників РЕ. Мова йде про віртуальні електричні станції (ViEC) та балансуєчі групи (БГ). Проте, на сьогодні, в Україні немає єдиного бачення щодо використання цих підходів до об'єднання учасників конкурентного РЕ та відсутні практичні засади їх створення та функціонування, не зважаючи на те, що нова законодавча база передбачає можливість формування таких об'єднань учасників ринку.

Віртуальна електростанція – це система, що зазвичай складається з, зазвичай, розосереджених виробників електроенергії, споживачів і систем акумуляування енергії і об'єднана спільним керуванням ними. ViEC дозволяє підвищити ринкову вагу об'єктів малої розподіленої генерації до крупних генеруючих об'єктів. Крім того, ViEC дозволяють вирішувати зворотну задачу, тобто проблему домінування великих компаній на РЕ без юридичного розподілу їх активів.

Балансуєча група – це віртуальне об'єднання учасників ринку електроенергії створене з метою обліку та балансування електроенергії всередині групи. Тобто, БГ це засіб уникнення дисбалансу між прогнозованими та фактичними обсягами вироблення та споживання електроенергії, окремими учасниками такої групи. В чинному законодавстві України існує поняття балансуєчої групи, але на сьогодні немає правил ринку, що б встановлювали процес їх створення та роботи, а також існує ряд технічних, комерційних та економічних особливостей, а також регуляторних обмежень, що перешкоджають введенню балансуєчих груп в Україні.

Таким чином, ViEC та БГ є ефективними підходами об'єднання учасників РЕ в умовах конкурентного ринку і спрямовані, в цілому, на стабілізацію та підвищення стійкості та ефективності роботи енергосистем та їх об'єднань.

Метою статті є аналіз підходів до об'єднання учасників конкурентного ринку електроенергії в електроенергетичних системах, що призначені для підвищення ефективності балансування та розподілу електроенергії в енергосистемах з урахуванням світового досвіду.

Віртуальні електростанції.

Віртуальні електростанції на сьогодні отримують все більший розвиток в енергосистемах західних країн, зацікавлених в більш ефективному використанні енергоресурсів. На сьогодні перелік цих країн очолює Німеччина, яка докладає значних зусиль для розробки складних систем керування енергетикою. Наприклад, енергетичний гігант RWE за допомогою програмного забезпечення керує постачанням і споживанням енергії, виробленої електростанціями Рейнсько-Рурського регіону, найбільш густонаселеного в Німеччині. Використовуючи систему керування, розроблену компанією Siemens, у RWE знайшли спосіб пов'язати в єдину мережу десятки дрібних ВДЕ разом із традиційними електростанціями. У лютому 2012 року RWE вперше запустила в промислову експлуатацію ViEC. Віртуальна електростанція генерує близько 80 МВт потужності, які компанія продає на біржі EEX у Лейпцигу.

У Великобританії компанією Reactive Technologies розроблено свою технологію, що дозволяє створювати ViEC.

Фінська енергокомпанія Fortum Corporation нещодавно запустила пілотний проект: для підтримки балансу в енергосистемі об'єднала 70 приватних домогосподарств, які отримують тепло і гарячу воду від водогрійних котлів, в єдину мережу. Сумарна потужність котлів всього 100 кВт, але це перший приклад у Фінляндії використання потужності саме побутових споживачів для регулювання навантаження енергосистеми.

Інший приклад ViEC – проект канадської компанії New Brunswick Power, яка залучила до нього 1400 будинків і 30 компаній. Для балансування генерування від ВДЕ, енергокомпанія використовує систему керування споживанням, яка користується великими обсягами гнучкою навантаження споживачів (за рахунок регулювання температури повітря, потужності водонагрівачів та іншого побутового обладнання). Ця віртуальна електростанція дозволяє забезпечити додатковий регульовальний ресурс у 17 МВт і дозволяє легше проходити ранкові піки навантаження на енергосистему.

У США енергетичні компанії New York Con Ed, SunPower і Sunverge планують створити віртуальну електростанцію із залученням приватних домогосподарств. Є домовленість із власниками 300 приватних будинків про розміщення на їх дахах сонячних панелей потужністю від 7 до 9 кВт, а також акумуляторів для зберігання енергії. Об'єднані в керовану мережу, сонячні панелі будуть єдиним комплексом, причому енергокомпанії не будуть інвестувати у купівлю ділянок під будівництво електростанції. Натомість

власники будинків-учасників проекту будуть отримувати «зелену» енергію безкоштовно. Також в США є приклад ВіЕС, що засновані на системах керування попитом. Встановивши в 165 приватних будинках інтелектуальні системи зберігання електроенергії, компанія Glasgow Electric Plant Board накопичують енергію в нічний час, або коли попит і ціни на електроенергію низькі. Коли попит і ціни досягають високого рівня, енергокомпанія забезпечує своїх споживачів із сховищ.

Як зазначалося вище, концепція ВіЕС передбачає наявність джерел енергії, споживачів, систем акумулювання енергії й інформаційних технологій керування її складовими. Розглянемо ці складові більш детально.

Генерація ВіЕС може бути умовно поділена на три основні групи. По-перше, це традиційні електростанції на викопному паливі. По-друге, це великі РДЕ в основному на основі відновлюваних джерел енергії, основна задача яких, надавати вироблену потужність в енергосистему. Також, це РДЕ середньої та низької потужності, що зазвичай обладнані системами накопичення енергії та приєднані до розподільчих мереж середньої, або й низької напруги. По-третє, це невеликі індивідуальні генерувальні установки споживачів для житлових, комерційних або промислових потреб. Надлишок виробництва електроенергії таких ДРГ може бути відданий у мережу так само, як і його нестача може бути компенсована за рахунок мережі.

Споживачі, що входять до складу ВіЕС можуть бути як промисловими, так і побутовими.

Сьогодні основне призначення систем накопичення енергії це – забезпечувати більш рівномірний графік видачі потужності в мережу від ВДЕ, особливо, сонячних або вітрових електростанцій, оскільки вони мають мінливий графік генерування потужності. Наразі, крім традиційних акумуляторних батарей різного типу, також використовуються і розвиваються інші сховища енергії: водноакумулявальні установки (наприклад гідроакумулявальна електростанція); сховища енергії на стисненому повітрі; маховикові технології накопичення енергії; надпровідникові магнітні акумулятори; технології накопичення енергії на основі використання супер конденсаторів; паливні елементи.

Найбільш важливим елементом ВіЕС безумовно є інформаційні технології, які пов'язують всі її елементи. Це квінтесенція з інтелектуальних пристроїв, лічильників, бездротових і кабельних мереж, керуючого комп'ютера, програмних додатків і систем безпеки передавання даних тощо. Ключовим елементом ВіЕС є система керування електростанцією, вона може базуватися, наприклад, на системах енергоменеджменту, SCADA системах або на центрах диспетчерського керування. Така система координує енергетичні та інформаційні потоки, що йдуть від генераторів, навантажень і сховищ. Зв'язок є двонаправленим, тому оператор ВіЕС може не тільки отримувати інформацію про поточний стан кожної складової, а й також надсилати сигнали керування [1]. Для належного функціонування система керування має отримувати інформацію про стан кожної складової та отримувати прогнозні дані, особливо це стосується РДЕ що мають стохастичний характер генерування. Прогнозні дані щодо генерування особливо потрібні для ефективної роботи разом із традиційною генерацією в реальному часі. Інша прогнозна інформація, наприклад щодо можливих збоїв у мережі відіграє важливу роль у процесі оптимізації роботи ВіЕС.

Щодо аспектів побудови ВіЕС, то на сьогодні прийнято виділяти два основних типи ВіЕС: комерційний (продаж електроенергії на оптовий ринок) та/або технічний (допоміжні послуги, зокрема такі, як регулювання частоти та активної потужності тощо). Основними аспектами, що визначають конструкцію ВіЕС, є технологічні можливості, комерційні та економічні можливості і регуляторні обмеження. Крім того, стратегія керування розподільними мережами, властивості доступних блоків РДЕ, пристроїв накопичення енергії та наявності керованих навантажень можуть створювати технічні умови, яким мають відповідати ВіЕС. Тому первинним завданням при проектуванні і розробці ВіЕС є контроль і керування доступними одиницями РДЕ, пристроями накопичення енергії і керованими навантаженнями. Для цього необхідно розробити необхідну комунікаційну інфраструктуру, а також програмні додатки для прогнозування, моніторингу та контролю. Звичайно, можна використовувати доступні засоби та програмне забезпечення, якщо вони відповідають вимогам.

Для моніторингу та керування РДЕ на об'єктах мають бути встановлені інтелектуальні вимірювальні та керуючі пристрої. Ці пристрої здійснюють зв'язок через проміжні пристрої з центром керування. Враховуючи величину ВіЕС, географічний розподіл одиниць РДЕ і доступні їх категорії, необхідно обирати спосіб роботи та керування станцією, централізований або децентралізований. Очевидно, що великі ВіЕС вимагають децентралізованого підходу із наданням функцій прийняття рішень проміжним керуючим елементам відповідно до встановлених алгоритмів. В цьому випадку доречною є розробка мультиагентної системи керування ВіЕС [2].

Щодо комерційних і економічних аспектів ВіЕС, то основною перевагою ВіЕС, як зазначалося, є те, що вона представляє всі контрактні одиниці РДЕ на оптових ринках електроенергії як єдине комерційне підприємство [3]. Для участі у ринку необхідно розробити або використовувати програмні додатки, для прогнозування сумарного генерування ВіЕС. Також, інформація для прогнозів може бути отримана з контракту з власниками РДЕ в поєднанні з прогнозами погоди, історичними та фактичними даними

генерування. Грунтуючись на цій інформації, BiES може прогнозувати виробництво енергії і розробляти стратегію участі в оптовому ринку електроенергії.

Нормативно-правові аспекти BiES є індивідуальними для кожної окремої країни.

Балансуючі групи.

Концепція центрального контролю обов'язків зі сторони системного оператора (СО) зарекомендувала себе як придатна і ефективна для балансування системи у вертикально інтегрованих ринках, де відсутня конкуренція між генераторами і споживачами електричної енергії. На конкурентних ринках існує кілька умов, які відрізняються від вертикально інтегрованих підприємств: участь великої кількості продавців і покупців кожного виду продукції, правові вимоги, щодо мінімальних перешкод для споживачів під час вибору постачальника, а також прозорість у всіх сегментах ринку.

Дрібним споживачам і великим виробникам важко брати участь в окремих сегментах ринку, враховуючи складність балансування їх графіків навантаження. Для цього, в деяких європейських країнах використовується підхід консолідації дрібних споживачів і невеликих генераторів у балансуєчій групі.

Балансуєча група є основою, на якій працюють більшість лібералізованих енергетичних ринків держав Європи: Австрії, Болгарії, Чехії, Фінляндії, Франції, Німеччини, Угорщини, Італії, Польщі, Румунії, Словенії, Іспанії та Сполученого Королівства, Норвегії, Швейцарії, а також Албанії, Боснії і Герцеговини, Македонії, Чорногорії і Сербії. Національне законодавство цих країн визначає зобов'язання щодо участі в БГ. У деяких країнах участь в балансуєчій групі є обов'язковою і кожен учасник ринку (споживач, виробник, постачальник, трейдер) має бути членом БГ, яка зареєстрована в «Області керування». Правилами БГ на врегулювання небалансу відводять від 15 хвилин до 1 години. За недотримання балансу до сторони відповідальної за баланс, зазвичай, застосовують штрафні санкції.

В Угорщині за балансування відповідає СО, він також керує балансуєчим ринком. Угорський балансуєчий ринок базується на моделі балансуєчої групи. Для створення БГ необхідно укласти договір з СО. Згідно з угорським законодавством виробники зобов'язані забезпечувати енергетичний баланс. Час на врегулювання небалансів складає 15 хвилин. Ціни за балансуєчу енергію відмінні для кожного періоду часу, і розраховуються на основі обґрунтованих витрат, зокрема по паливній складовій електростанції. Участь у БГ є обов'язковою для всіх трейдерів електроенергії і реалізується або шляхом укладання угоди із СО, або підписавши зобов'язання балансування зі стороною відповідальною за баланс у певній балансуєчій групі. Для того, щоб стати учасниками ринку, всім продавцям необхідно укласти договір з СО або стати учасником балансуєчої групи і виконувати свої зобов'язання по балансуванню, як учасника балансуєчої групи, перед стороною відповідальною за баланс. Міждержавна торгівля здійснюється лише за умови укладання договору з СО. Сторона відповідальною за баланс надає фінансові гарантії СО для забезпечення розрахунків в рамках договорів.

В Італії СО несе відповідальність за балансування і купує балансуєчу енергію на балансуєчому ринку, яким керує оператор ринку. Розподіл балансуєчої енергії відбувається на основі аукціонів або за попереднім контрактом. Основою балансуєчого ринку електроенергії є БГ, що складаються з генераторів малої потужності (<10 МВт) у певній області ринку і споживачів у тій самій області ринку. Час, що надається для врегулювання небалансів становить 1 годину. Існують штрафи за невиконання графіків навантаження. Також для балансування використовують імпортовану енергію.

Відповідно до румунського «Комерційного кодексу» відповідає за балансування СО. Системний оператор також виступає як оператор балансуєчого ринку і несе відповідальність за реєстрацію учасників балансуєчого ринку; збір та перевірку договорів між учасниками ринку; розрахунок необхідної величини балансуєчої потужності для врегулювання небалансів. Балансувальну енергію забезпечують за допомогою аукціонів. Всі виробники зобов'язані брати участь у балансуєчому ринку.

За словенським законодавством відповідає за балансування електроенергії СО. Керує балансуєчим ринком – оператор ринку. Балансуєчий ринок базується на БГ. Для створення БГ необхідно подати заявку оператору ринку і виконати всі необхідні умови. Будь-хто, хто відповідає критеріям, які висунуті оператором ринку, може очолити балансуєчу групу. Очільник БГ виконує роль сторони, відповідальної за баланс в межах групи. При цьому виробники не мають ніяких юридичних зобов'язань, щодо забезпечення балансування енергії, за винятком участі блоків потужністю більше 10 МВт, які зобов'язані брати участь у первинному регулюванні частоти. Відповідно до «Правил словенського енергетичного ринку» сторона відповідальна за баланс сплачує штрафи за невиконання графіків навантаження, або отримує нижчу плату за енергію, яку вона постачає понад графіку. Оператор ринку несе відповідальність за розрахунки цих платежів на підставі даних, наданих СО, а також за всі процедури врегулювання в цьому процесі.

Отже, впровадження БГ, насамперед, спрямоване на вирішення таких задач:

- забезпечення балансу в межах балансуєчої групи;
- використання балансувальної енергії для покриття різниці між фактичними і передбачуваними обсягами електроенергії в мережі;

- створення системи фінансового врегулювання з питань використання балансуєної енергії та надання аналогічних послуг;
 - покращення інтеграції відновлювальних джерел енергії в енергосистему.
- Зазвичай виділяють такі основні типи БГ на балансуєних ринках ЄС:
- торгові балансуєні групи;
 - балансуєні групи постачальників (головним чином використовуються для забезпечення споживачів);
 - комбіновані балансуєні групи (для торгівлі і забезпечення споживачів).

Отже, очевидно, що керування потужністю і балансування електроенергії має одну і ту саму ціль – балансування генерування й споживання. Проте, керування потужністю – це відхилення від прогнозу в області керування; а балансування енергії – це відхилення від прогнозу в балансуєній групі. Відхилення від прогнозу, попиту чи пропозиції в групі балансування, наприклад, в результаті збою, приводить до зростання балансуєної енергії. «Чиста» балансуєна енергія в усіх БГ в області керування – це потреба в потужності, яку має покрити сторона відповідальна за баланс в області керування. Загальна кількість балансуєної енергії може бути значно більшою, ніж потужність, що потрібна для керування, оскільки БГ можуть компенсувати потреби одна одної. Рахунок за використану балансуєну енергію виставляється балансуєним групам, на основі, кількості енергії, яка була зареєстрована і на основі ціни розрахованої за послуги керування потужністю.

Висновки. В Україні створення балансуєних груп набуває особливої актуальності у зв'язку із прийняттям нового законодавства щодо ринку електроенергії, оскільки їх створення і участь у їх роботі є обов'язковою для всіх учасників РЕ. Таким чином, створено початковий плацдарм для створення і функціонування БГ на ринку електроенергії України, але проаналізувавши досвід країн ЄС, можна сказати, що теперішніх норм і правил недостатньо і вони потребують значного доповнення. Балансуєні групи – це кращий спосіб уникнути збитків і цінової непередбачуваності при торгівлі на балансуєному РЕ. По суті, мова йде про створення «внутрішніх ринків» із різних генеруючих блоків і великих споживачів з метою досягнення «нульового» балансу графіків споживання всередині групи і зниження фінансових втрат від участі у балансуєному ринку. При цьому, чим більше учасників групи, тим буде більший розмір взаємної компенсації відхилень від графіка навантажень і більш низькі ціни за усунення небалансів групи. Отже, функціонування БГ має спрямованість на стабілізацію роботи національних і міждержавних енергосистем.

Щодо впровадження ВіЕС, то досвід провідних країн світу показує, що за допомогою використання ВіЕС можна вирішити як проблему монопольного домінування великих енергокомпаній на ринку, так і проблему підвищення ефективності використання існуючих традиційних електростанцій. Також, впровадження ВіЕС дозволяє підвищити ефективність інтегрування РДЕ в ЕЕС та досягти оптимального балансування системи з вирівнюванням піків споживання, мінімізацією комерційних ризиків виробників та споживачів.

Список використаної літератури

1. Braun M. Virtual Power Plant Functionalities – Demonstrations in a Large Laboratory for Distributed Energy Resources // 20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED). – Prague, Czech Republic, 8-11 June 2009.
2. Dimeas A. L., Hatziaargyriou N. D. Agent based control of Virtual Power Plants, Intelligent Systems Applications to Power Systems // ISAP 2007. International Conference on.
3. Денисюк С.П., Горенко Д.С. Аналіз проблем впровадження віртуальних електростанцій // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 2. – С. 25-33.

И.В. Блинов, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт электродинамики НАН Украины
С.Е. Танкевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт электродинамики НАН Украины

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
ПОДХОДЫ К ОБЪЕДИНЕНИЮ УЧАСТНИКОВ КОНКУРЕНТНОГО РЫНКА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Широкое распространение рассредоточенных источников энергии и развитие конкурентных отношений в энергетике побуждают к поиску новых перспективных решений по управлению и балансированию в энергетических системах. Такими решениями становятся виртуальные электрические станции и балансирующие группы. В статье изложены результаты анализа мирового опыта создания и использования виртуальных электростанций и балансирующих групп. Рассмотрены основное назначение и составляющие таких станций, а также аспекты их функционирования в зависимости от назначения. Приведены основные функции балансирующих групп и проблемы, которые они позволяют решать.

Ключові слова: Smart Grid, виртуальная электростанция, балансирующая группа, энергетический баланс, управления в энергетике.

I. Blinov, Cand. Sc. (Eng.), SRF,
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine
S. Tankevych, Cand. Sc. (Eng.), SRF,
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

APPROACHES TO ASSOCIATION OF COMPETITIVE ELECTRICITY MARKET PARTICIPANTS

The widespread use of distributed energy resources and the development of competitive energy market are prompting the search of new promising solutions for management and balancing in power energy systems. Such solutions are the virtual power plants and balancing groups. The article contains the results of the analysis of the world experience in the creation and use of virtual power plants and of balancing groups. The main purpose and components of such power plants, as well as aspects of their functioning depending on the purpose, are considered. The main functions of balancing groups and the problems that they allow to solve are given.

Key words: Smart Grid, virtual power plant, balancing group, energy balance, control in power industry.

References

1. Braun M. Virtual Power Plant Functionalities – Demonstrations in a Large Laboratory for Distributed Energy Resources // 20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED). – Prague, Czech Republic, 8-11 June 2009.
2. Dimeas A. L., Hatziaargyriou N. D. Agent based control of Virtual Power Plants, Intelligent Systems Applications to Power Systems // ISAP 2007. International Conference on.
3. Denysiuk S., Horenko D. Analysis problems of implementation virtual power plants // Energy: economics, technology, ecology – 2016. – № 2. – pp. 25-33.

Надійшла 30.05.2017
Received 30.05.2017