

ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗНЕСТРУМЛЕНИХ СПОЖИВАЧІВ ЯК СИСТЕМНА ПОСЛУГА НА КОНКУРЕНТНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ *

Розглянуто склад системних та допоміжних послуг на конкурентному ринку електричної енергії України. Запропоновано метод підвищення ефективності надання системних послуг оператором розподільчих мереж учасникам ринку електричної енергії з відновлення електропостачання аварійно знеструмлених споживачів.

Вступ. Розвиток ринкових відносин в електроенергетичній галузі України сьогодні пов'язаний насамперед з впровадженням повномасштабної конкурентної моделі функціонування ринку електричної енергії – ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку електричної енергії (РДДБ) України [4, 5]. Купівля та продаж електричної енергії в Україні здійснюються в умовах постійного та неперервного у часі забезпечення балансу генерації та споживання електричної енергії. Причому розв'язання задачі забезпечення зазначеного балансу в моделі РДДБ України передбачено в рамках балансуючого ринку електричної енергії, функціонування якого, в свою чергу, тісно пов'язане з роботою ринку допоміжних послуг, які надаються учасниками РДДБ системному оператору для виконання ним своїх функцій з надання системних послуг. Слід зазначити, що одним з пріоритетних завдань розвитку РДДБ України є підвищення якості надання системних послуг учасникам РДДБ [1] як з боку системного оператора, так і операторів розподільчих мереж.

З огляду на зазначене в статті розглянуто особливості методу підвищення ефективності надання операторами розподільчих мереж системної послуги з відновлення електропостачання аварійно знеструмлених споживачів електричної енергії, які є учасниками РДДБ.

У рамках РДДБ України слід розділяти, з одного боку, системні послуги, тобто послуги, що надаються системним оператором або оператором розподільчих мереж учасникам РДДБ та, з іншого боку, допоміжні послуги, що надаються учасниками РДДБ системному оператору на основі конкурентного механізму – ринку допоміжних послуг.

На відміну від механізму придбання допоміжних послуг, на РДДБ України не передбачено ринкового механізму надання системних послуг. Це обумовлено тим, що системні послуги не можуть надаватися учасникам РДДБ на конкурентній основі, оскільки можливість надання таких послуг мають лише системний оператор та оператори розподільчих мереж.

До складу системних послуг, що надаються системним оператором для забезпечення надійної роботи ОЕС України учасникам РДДБ України, за рахунок виконання необхідних дій з оперативного керування, зокрема, входять:

- диспетчерське керування ОЕС України, у тому числі виконання оперативних заходів з мінімізації недовідпуску електроенергії внаслідок виникнення аварій, їх ліквідації та відновлення електропостачання після аварій;

- резервування електричних мереж, тобто здійснення системним оператором або оператором розподільчих мереж додаткових запасів «пропускної спроможності» ліній електропередачі та автотрансформаторів зв'язку (резервування «пропускної спроможності» міждержавних ліній електропередачі передбачає купівлю певних запланованих обсягів «пропускної спроможності» на аукціонах).

Зазначені системні послуги повинні надаватися як системним оператором на рівні магістральних мереж, так і операторами розподільчих мереж. До складу допоміжних послуг

входять: послуги виробників електричної енергії з надання резервів активної потужності та первинного і вторинного регулювання частоти; послуги виробників електричної енергії з регулювання реактивної потужності та рівня напруги; послуги, що надаються споживачами електричної енергії у разі їх участі в автоматичному частотному розвантаженні тощо. Слід зазначити, що надання допоміжних послуг виробниками електричної енергії на РДДБ України є обов'язковим.

У моделі РДДБ України передбачено, що системний оператор повинен забезпечити надання учасникам РДДБ як системних послуг, так і послуг з балансування попиту і контрактних обсягів купівлі-продажу електричної енергії на балансуєчому ринку. Водночас системний оператор здійснює також і контроль роботи ринку допоміжних послуг, виконує функції з придбання допоміжних послуг у постачальників допоміжних послуг, необхідних для забезпечення надійної роботи об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України, забезпечує доступність надання таких послуг виробниками та споживачами електричної енергії.

Системний оператор може закуповувати допоміжні послуги через прямі довгострокові контракти або з використанням окремих тендерних механізмів, причому як безпосередньо у виробників електричної енергії, так і у інших учасників РДДБ України, які матимуть право надавати допоміжні послуги або права на надання таких послуг згідно з правилами РДДБ України.

Підвищення ефективності відновлення електропостачання знеструмлених споживачів. Існуюча система надання системних послуг з оперативного керування режимами ОЕС України потребує якісного удосконалення, що обумовлюється як потребами надійного та ефективного функціонування електроенергетичних об'єктів, так і забезпечення функціонування РДДБ України та його сегментів – ринку допоміжних послуг та балансуєчого ринку.

До найбільш актуальних і недостатньо опрацьованих в аспекті підвищення ефективності надання системних послуг з оперативного керування електричними мережами (ЕМ) належить задача відновлення електроживлення споживачів (ВЕС), знеструмлених у результаті аварій в ЕМ. Оскільки внаслідок складності ЕМ як об'єктів керування та стохастичної природи аварійних збурень неможливо заздалегідь передбачити всі оптимальні варіанти ВЕС, розв'язання зазначеної задачі має здійснюватись згідно з певною стратегією. Пошук варіантів ВЕС оперативний персонал (ОП) електромереж України і досі виконує фактично без допомоги спеціалізованих засобів, тому рішення, які він приймає в таких ситуаціях, не завжди ефективні та безпомилкові. Слід зазначити, що майбутній механізм функціонування РДДБ в Україні передбачає формування певної системи штрафів за перебільшення часу відновлення електроживлення споживачів, а також систему «бонусів» за зменшення цього часу, що обумовлює необхідність підвищення ефективності розв'язання цієї задачі не тільки з технологічної, але й з економічної точки зору.

Особливої актуальності при цьому набувають заходи, які не потребують значних капітальних витрат. Прикладом цього є створення та впровадження системи підтримки ОП у прийнятті рішень [2]. Для автоматизованого розв'язання вказаної задачі потрібно розробити методи та реалізувати відповідні програмні засоби, які дають змогу виконувати пошук *online* найкращих (за визначеними критеріями) варіантів ВЕС.

На даний час для розв'язання задачі ВЕС найбільш ефективним є використання методів та засобів штучного інтелекту [7], серед яких можна виділити: генетичні алгоритми, експертні системи із застосуванням міркувань на основі прецедентів, метод моделювання відпаду, табу-пошук та системи мультиагентів. Числові методи пошуку оптимальних розв'язків не набули поширення для розв'язання цієї задачі через дискретний характер частини аргументів цільової функції (що обумовлюється характером зміни стану комутаційних пристроїв), складності визначення похідних та знаходження глобального оптимуму вказаної задачі.

Враховуючи велику кількість чинників, що впливають на визначення найкращого розв'язку вказаної задачі [6], остання все більше набуває ознак багатокритеріальної, комбіаторної, оптимізаційної задачі. Специфіка її при існуванні альтернативних шляхів живлення електроспоживачів полягає у наявності кількох екстремумів цільової функції. Заздалегідь

неможливо передбачити усі схемно-режимні ситуації, які можуть виникнути в результаті розвитку аварії та знеструмлення споживачів електроенергії (від окремих ділянок ЕМ до значних районів). Неповнота оперативної інформації, що має місце у разі ВЕС, ускладнює розв'язання цієї задачі.

Таким чином, спираючись на результати проведених досліджень [3, 6], розроблено новий метод пошуку оптимальних варіантів ВЕС. Цей метод забезпечує знаходження глобального оптимуму (найкращого розв'язку) задачі ВЕС, що базується на особливостях механізмів генетичних алгоритмів та розробленій їх модифікації, зокрема:

- пошук варіантів ВЕС з використанням генетичних алгоритмів (для пошуку варіантів ВЕС було розроблено відповідний варіант реалізації генетичних алгоритмів, ефективний саме для розв'язання даної задачі [3, 9]);

- порівняння знайдених варіантів ВЕС у режимі «*on-line*» із залученням інтегрального «показника якості» [8];

- перевірку допустимості відхилень рівнів напруг у споживачів електричної енергії, яка виконується на останніх етапах розв'язання задачі ВЕС, коли вже знайдено найбільш оптимальні розв'язки даної задачі;

- виконання процедури «розвантаження» ЕМ, в результаті якої забезпечується «балансування» сумарної потужності знеструмлених споживачів, для яких забезпечується електроживлення, та наявного резерву потужності в ЕМ.

Вказаний інтегральний «показник якості» сформовано з урахуванням існуючих обмежень та необхідних критеріїв оптимізації. Основні обмеження, які враховуються при оперативному розв'язанні цієї задачі – це *збереження радіальної структури* розподільних ЕМ (за умови виконання цього обмеження спрощується моделювання режиму електромереж, оскільки достатньо обмежитися спрощеною оцінкою поточкорозподілу в елементах ЕМ) та *уникнення переобтяжень елементів ЕМ* (ліній електропередач, трансформаторів). Також передбачено урахування низки додаткових обмежень, наприклад, *обмеження стосовно використання вимикачів з певним залишковим електричним ресурсом*. Проте для практичного застосування останнього обмеження часто бракує необхідної інформації. Відбір найкращих варіантів ВЕС виконується за такими критеріями: *максимізації потужності відновленого навантаження*, тобто відновлення максимально можливої за поточних умов сумарної потужності знеструмлених споживачів (основна мета задачі ВЕС) та *зменшення нерівномірності розподілу навантаження між центрами живлення* (дозволяє зменшити нерівномірність розподілу навантаження між центрами живлення, суміжними із знеструмленим фрагментом ЕМ, що сприяє «вирівнюванню» напруги в ЕМ), *мінімізації кількості перемикань у схемі ЕМ* (сприяє зменшенню кількості комутаційних операцій при пошуку варіантів ВЕС, одночасно мінімізуючи і загальний час виконання операцій), *скорочення часу відновлення електропостачання* (враховуються потреби у часі для реалізації різних варіантів ВЕС).

При визначенні конкретних електроспоживачів, які не ввійдуть до поточного плану відновлення внаслідок переобтяження елементів ЕМ, враховуються: *пріоритетність електроспоживачів*, яка передбачає наявність таких складових, як категорійність електроспоживачів, їх «участь» у графіках відключень, наявність заборгованості перед енергопостачальною компанією, невиконання встановлених правил споживання електроенергії тощо; *сумарна потужність, що вимикається* (у разі необхідності розвантажити ЕМ потрібно виконати вимкнення мінімально достатньої для розвантаження елементів ЕМ кількості електроспоживачів за сумарною потужністю); *район знаходження електроспоживачів* (за інших рівних умов більш доцільно «вимикати» споживачі електроенергії у вже знеструмленому фрагменті ЕМ, тобто не включати їх до поточного варіанту ВЕС); *кількість комутаційних операцій*. Розвантаження переобтяжених елементів ЕМ за інших рівних умов слід реалізовувати шляхом мінімально необхідної кількості комутаційних операцій.

Проведені експериментальні випробування розробленого методу на різних схемах ЕМ [3] підтвердили його ефективність при пошуку варіантів ВЕС у режимі оперативного керування ЕМ. Результати випробувань свідчать, що розроблений метод з високою ймовірністю

забезпечує знаходження найкращого розв'язку (глобального оптимуму) задачі ВЕС протягом часу, прийняттого для задач оперативного керування електричними мережами.

Висновок. Одним з пріоритетних завдань розвитку РДДБ України є підвищення якості надання системних послуг учасникам РДДБ і, зокрема, послуги з відновлення електропостачання аварійно знеструмлених споживачів електричної енергії. Розроблений на базі генетичних алгоритмів метод пошуку варіантів ВЕС спрямований на підвищення ефективності надання такої послуги операторами розподільчих мереж.

Рассмотрен состав системных и вспомогательных услуг на конкурентном рынке электрической энергии Украины. Предложено метод повышения эффективности предоставления системных услуг оператором распределительных сетей участникам рынка электрической энергии по восстановлению электроснабжения аварийно обесточенных потребителей.

The composition of system and subsidiary services on the competitive market of electrical energy of Ukraine is considered. The method for increasing efficiency of the system service rendering by distribution net operator to participants of the electrical energy market concerning supply reduction of emergency deenergized consumers is proposed.

1. Ватагин М.Ю., Баталов А.Г., Грабчак Р.В., Денисевич К.Б., Корнюш С.В. О системных услугах замолвите слово... // Электрические сети и системы. – 2007. – № 3. – С. 3–8.
2. Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Лук'яненко Л.М., Парус Є.В. Системи підтримки прийняття рішень оперативним персоналом електроенергетичних об'єктів // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 3. – С. 59–65.
3. Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Лук'яненко Л.М. Розв'язання на базі генетичних алгоритмів задачі відновлення електроживлення аварійно знеструмлених споживачів // Техн. електродинаміка. Темат. вип.: «Силова електроніка та енергоефективність». – 2009. – Ч. 1. – С. 55–60.
4. Кириленко О.В., Корхмазов Г.С., Попович В.І. Оптовий ринок електричної енергії: моделі та стандарти // Техн. електродинаміка. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2007. – Ч. 1. – С. 62–67.
5. Концепція функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України, схвалена постановою КМУ від 16 листопада 2002 р. № 1789.
6. Лук'яненко Л.М., Білінов І.В. Особливості задачі відновлення живлення знеструмлених споживачів в електромережах // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України. – 2008. – Вип. 19. – С. 36–41.
7. Лук'яненко Л.М. Сучасні методи та засоби розв'язання задачі відновлення електропостачання знеструмлених споживачів в електромережах // Техн. електродинаміка. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2007. – Ч. 5. – С. 89–92.
8. Лук'яненко Л.М. Інтегральний «показник якості» варіантів відновлення електропостачання знеструмлених споживачів // Техн. електродинаміка. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2008. – Ч. 2. – С. 88–91.
9. Лук'яненко Л.М., Стелюк А.О. Застосування генетичних алгоритмів для розв'язання задачі відновлення електроживлення знеструмлених споживачів // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2009. – № 2 (25). – С. 51–57.

Надійшла 23.06.2010