

КОМПЛЕКСНИЙ ЕНЕРГОВУЗОЛ З УРАХУВАННЯМ ЛОКАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Мельник О.А., аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Оптимальне співвідношення окремих елементів в комплексних (комбінованих) електроенергосистемах (КЕЕС) на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) визначається з урахуванням багатьох факторів, а саме: забезпеченості традиційними джерелами енергії; метеорологічними умовами; структурою систем енергопостачання і енергоспоживання; вимогами до якості енергії; екологічними та економічними факторами, тощо. Проектування такої енергосистеми (енерговузла) має базуватися на розрахункових показниках, що виходять з відповідної математичної моделі.

Мета роботи: створення математичної моделі комплексного енерговузла з урахуванням локального потенціалу ВДЕ і можливого небалансу потужності.

Матеріали і результати досліджень. Щоб досягти високих техніко-економічних показників при застосуванні ВДЕ, стабільних робочих параметрів енергетичного обладнання й надійного енергозабезпечення споживачів, створюються КЕЕС, де може вироблятися й акумулюватися електрична й теплова енергія при поєднанні ВДЕ з технологіями традиційної енергетики. Особливістю автономних (локальних) енергосистем є потреба в оптимізації складу генеруючих потужностей та їх характеристик, режимів сумісної роботи. Така оптимізація має враховувати особливості споживання енергії, вимоги до надійності забезпечення, наявний потенціал ВДЕ, можливі небаланси потужності, вартісні показники, тощо.

Як правило, в якості цільової функції економічної оптимізації гібридної енергосистеми (енерговузла) розглядають вартісну складову. Цільова функція є сумою всіх чистих теперішніх вартостей, що включають капітальні витрати, вартість демонтажу, витрати на експлуатацію та технічне обслуговування. У випадку наявності традиційних джерел до витрат відносять також екологічну складову (вартість компенсації шкідливих викидів).

Якщо критерієм є собівартість електроенергії, то цільова функція має вигляд [1]:

$$f(T) = \int_0^T \sum_i^N c_i y_i(t) dt \rightarrow \min,$$

де c_i – питома вартість одиниці електричної енергії від i -го генеруючого елемента (чи групи елементів) певного типу; $y_i(t)$ – кількість одиниць електричної енергії, отриманої від i -го елемента; N – кількість елементів; T – час експлуатації.

Оскільки продуктивність генерування прямо пропорційна номінальній потужності, яка при обраному типі генерування визначається кількістю окремих елементів (генеруючих модулів), то задача оптимізації є цілочисловою лінійною, де параметрами оптимізації є кількість модулів кожного типу. Тип

модуля характеризується його енергетичною характеристикою, що грає роль рівняння стану, а обмеження у вигляді нерівностей стосуються загальних параметрів енергосистеми (пропускної здатності мереж, потреб споживача, можливостей розміщення, тощо). Слід зазначити, що для вітрової енергії істотним є не лише середнє значення швидкості вітру, а й дисперсія [2].

В задачах стохастичної оптимізації КЕЕС необхідно спостерігати за змінами математичного очікування і дисперсії одночасно, не допускати перевищення ними заданих значень або допускаючи це перевищення з певною імовірністю. Для вирішення цієї проблеми розглядаються моделі зі змішаними умовами, що потребуватиме встановлення ієрархії критеріїв в термінах Парето-оптимальності [3].

Втрати енергії в енерговузлі з ВДЕ можуть стосуватися як виробленої енергії (при позитивному небалансі), так і недопоставленої, тобто втрати споживання (при негативному). Резервування потужностей дозволяє уникнути недопоставок енергії, тобто компенсувати негативну складову небалансу. Натомість позитивна частина може бути збережена шляхом акумулювання, яке одночасно слугуватиме і як резерв потужності, при правильному доборі акумулюючих потужностей. Нехай поточний небаланс потужності описується функцією $U(t)$. В узагальненому вигляді процес $U(t)$ може бути описано таким виразом [4]:

$$u_i = \alpha u_{i-1} + \eta \varepsilon_i, \quad \text{де } u_i = \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} U(t) dt.$$

Тоді кумулятивний небаланс енергії впродовж доби:

$$\sum_{i=0}^n U(t_i) \Delta t = [U(t_0) \sum_{i=0}^n e^{-i\beta \cdot \Delta t} + \frac{\sigma}{\sqrt{2\beta}} \sqrt{1 - e^{-2\beta \cdot \Delta t}} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \sum_{j=0}^{n-i} e^{-j\beta \cdot \Delta t})] \Delta t, \quad i=0 \dots n-1,$$

де $n \cdot \Delta t = T$ – тривалість доби (24 год); t_i – середина i -го часового інтервалу.

Висновки. Запропонована математична модель комплексного енерговузла з ВДЕ дозволяє розрахувати параметри дисперсії небалансів поточної потужності та накопиченого небалансу енергії, що дає змогу визначити їх максимальні з заданою імовірністю значення, довірчі інтервали небалансів, тощо. Такі розрахунки потрібні як для визначення індексів надійності енерговузла та очікуваних втрат енергії й споживання, так і для оптимального вибору систем акумулювання енергії.

Перелік посилань

1. Розен В. П. Оптимізація процесів вироблення електроенергії комбінованою електроенергетичною системою / В. П. Розен, Є. М. Іншеков, І. В. Калінчик // Енергетика. - 2013. - № 1. - С. 20-26.
2. Кузнєцов М.П., Мельник О.А. Оптимальна побудова електроенергетичного комплексу на основі відновлюваних джерел енергії // Збірник "Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України" – 2018 р., вип.51. – С.28-32.
3. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ // Відновлювана енергетика. – 2018, № 2. – С.6-15.
4. Mykola Kuznietsov, Yuliya Vyshnevskaya, Igor Brazhnyk, Oleksandr Melnyk. Modeling of the Generation-Consumption Imbalance in the Heterogeneous Energy Systems with Renewable Energy Sources / DOI: 10.1109 / ess.2019.8764189.