

## ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТА СПОЖИВАННЯ В ГІБРИДНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Лисенко О.В., д.т.н.

[helga\\_vl@ukr.net](mailto:helga_vl@ukr.net)

Адамова С.В.

[adamova\\_sv@ukr.net](mailto:adamova_sv@ukr.net)*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** Оптимальне співвідношення окремих елементів в гібридних енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) визначається з урахуванням багатьох важливих факторів, а саме: забезпеченості традиційними джерелами енергії; кліматичними (метеорологічними) умовами; структурою систем енергопостачання і енергоспоживання; вимогами до якості електричної і теплової енергії; вимогами до графіка енергопостачання; екологічними та економічними факторами, тощо. Особливістю 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 відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової), вартісні показники. Останнім часом, при зростанні питомої частки ВДЕ в енергетиці, з'являється значна кількість публікацій щодо методів обчислювальної оптимізації для досягнення техніко-економічної ефективності в гібридних системах. Оптимізація здійснюється по економічних показниках, таких як чиста приведена вартість системи, собівартість енергії і т.д. При цьому в якості додаткових умов вимагається певна надійність енергозабезпечення. Ці показники використовуються для визначення технічної та економічної ефективності конкретного проекту.

**Основні матеріали дослідження.** Особливістю математичного моделювання енергосистеми на базі відновлюваних джерел важливим є врахування таких параметрів, як максимальні, середні та мінімальні досяжні значення потужності, характер розподілу випадкових значень, тобто імовірність певних режимів, а також імовірні темп та амплітуда коливань поточних значень в режимі реального часу. При оптимізації потужностей енергосистеми першочерговим є визначення довготривалих показників, зокрема середніх значень (або математичних сподівань). При цьому змінну складову системи «вітер-сонце» можна представити осередненими показниками, а саме коефіцієнтами використання встановленої потужності.

Представимо баланс потужності в автономній електроенергетичній системі у вигляді

$$P_{\Delta}(t) = P_{Ren}(t) + P_{Ak}(t) - P_L(t), \quad (1)$$

де  $P_{Ren} = P_W + P_{PV}$  – потужність відновлюваних джерел енергії (вітру та сонця), що мають випадкову природу;

$P_{Ak}$  – потужність (стан зарядки) акумуляторної батареї;

$P_L$  – потужність навантаження (споживання);

$P^0_W, P^0_{PV}, P^0_{Ak}$  – номінальні потужності.

Зазначені потужності є функціями часу.

Критерій оптимізації, або цільова функція, виходячи з найбільш уживаних вимог до комплексних енергосистем на базі ВДЕ, може мати декілька формулювань.

Для оцінки інвестиційної привабливості важлива сукупна вартість проекту за весь термін експлуатації; для цього визначають так звану «чисту теперішню вартість» з застосуванням дисконтування капіталу. Генеруюча складова може містити вітрові, сонячні установки, акумулююче обладнання тощо, для яких властиві різні терміни амортизації та рівень експлуатаційних витрат, що важливо враховувати при оптимізації. Вироблена електроенергія, як правило, пропорційна номінальній потужності генеруючого обладнання.

Фізичні обмеження у вигляді рівнянь стану мають вигляд енергетичних характеристик для відповідних джерел, і є детермінованими функціями випадкових величин.

В термінах оптимізації гібридної енергосистеми задача мінімізації собівартості електроенергії, наприклад, відноситься до  $M$ -моделі. Інші варіанти  $M$ -задачі – забезпечення певної кількості енергії, якщо режим її надходження несуттєвий. Якщо ж задоволення попиту важливе в кожен момент часу, ставиться задача пошуку мінімальної по вартості конфігурації енергосистеми.

Варіантом  $P$ -задачі є забезпечення нормативної частоти струму. Тут є обмеження імовірнісні і абсолютні. В свою чергу коливання частоти пов'язані з небалансом потужності, тому відповідні умови можуть бути перераховані в терміни потужності стосовно досліджуваної енергосистеми.

Слід зазначити, що часто в задачах стохастичної оптимізації 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 (двокритеріальні та багатокритеріальні задачі), що потребуватиме встановлення ієрархії критеріїв в термінах Парето-оптимальності.

Орієнтування на максимальні відхилення балансу енергії при виборі акумуляторних батарей може призвести до економічно невиправданої їх ємності. Врахування поточного небалансу потужностей вимагає моделювання режимів генерування та споживання енергії як неперервного процесу. При використанні методів типу Монте-Карло елементарною подією може бути реалізація випадкового процесу певної скінченої тривалості. Такий підхід можливий в задачах на оптимізацію інтегральних показників, наприклад вартості чи собівартості. Однак навіть в таких задачах, якщо мова йде про акумулювання енергії чи про комбінування різнотипних джерел енергії, де важливою є послідовність в часі певних значень, бажано розглядати мінімально можливі інтервали часу.

**Висновок.** Для вирішення задач стохастичної оптимізації застосовують два види методів: прямі і непрямі.

Прямі методи передбачають безпосереднє рішення задачі, описаної системою стохастичних диференціальних рівнянь. До цих методів можна віднести градієнтні методи, методи усереднень, штрафів і ін. Методи подібного типу є досить складними і громіздкими.

Якщо цільову функцію, використовуючи апарат теорії ймовірностей і математичної статистики, можна задати в явному вигляді в залежності від вектора управління, то застосовують непрямі методи вирішення стохастичних задач. У цьому випадку з'являється можливість зведення задачі стохастичної оптимізації до задачі нелінійного програмування, і розробці алгоритму цього зведення.