

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, МЕРЕЖІ ТА КЕРУВАННЯ НИМИ

КРИТЕРІЙ МАНЕВРОВОСТІ ГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ І ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Сулейманов В.М., к.т.н., проф., **Баженов В.А.**, к.т.н., доц., **Янковська О.М.**, ст. викл., **Коваленко О.В.**, магістрант, **Ковальчук В.В.**, магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Досвід експлуатації силового обладнання електричних станцій свідчить, що добові графіки навантажень систем у більшості випадків не є постійними, а зміни навантаження в системах мають випадковий характер.

В таких умовах при недостатній величині маневровості силових агрегатів енергообладнання станцій досить велика вірогідність або виникнення обмежень електропостачання споживачів системи, або підвищення питомих витрат палива в зв'язку з його неекономічним розподілом між електричними станціями системи при збільшенні потужності, яка споживається.

Мета роботи. У цій ситуації переважає фактор швидкості збільшення навантаження генераторів системи, які були раніше вимкнені. Це особливо є актуальним у зв'язку із значним збільшенням навантаження в електричних системах, особливо в години вранішнього максимуму. Відзначимо, що при цьому необхідно враховувати різке збільшення піків та провалів графіків навантажень.

Матеріали дослідження. В період максимальних навантажень системи для забезпечення необхідного ступеню надійності її функціонування найпростіше розвантажувати силове обладнання електричних станцій. Проте при цьому достатньо різко знижується економічність роботи котлів і турбін. В таких умовах афективно забезпечувати необхідний рівень маневровості можна лише завчасним увімкненням певної кількості агрегатів системи. При цьому необхідно враховувати, що в період завчасного увімкнення також виникає збільшення витрат палива в системі, яке зумовлене режимами ненавантаженого ходу додатково увімкнених агрегатів та перерозподілом потужностей між основним складом агрегатів і кількістю завчасного увімкнених.

Критерій забезпечення максимуму маневровості агрегатів є єдиним критерієм, в якому фактором, який необхідно оптимізувати, буде час завчасного увімкнення (вимкнення) агрегатів системи, а не активні та реактивні потужності генерувальних джерел.

Оцінку режимів роботи системи для визначення рівня завчасності агрегатів, які будуть увімкнені, можна описати наступними критеріями: K1 – характеризує виникнення дефіциту електроенергії; K2 – відображає вироблення електроенергії з підвищеними питомими витратами палива в зв'язку з перевантаженням основних агрегатів системи; K3 - характеризує надлишок

потужності в період завчасності увімкнення агрегатів, тобто відображає вироблення електроенергії з підвищеними питомими витратами палива через розвантаження основних агрегатів системи та часткового збільшення навантаження агрегатів, які вмикаються; K_4 – характеризує витрати палива на агрегати, які додатково вмикаються; K_5 – характеризує переважне застосування певного виду палива для агрегатів.

Математична модель врахування вищезазначених критеріїв дозволяє визначити оптимальний рівень завчасності агрегатів, які вмикаються, при різній швидкості зростання навантаження агрегатів і варіюваному зростанні навантаження системи, може бути виражена для перерахованих критеріїв наступним чином

$$K_1 = \sum \left[U_j t_j P'_j - \sum_{i=1}^I U_{ij} t_{ij} - \sum_{k=1}^K U_{kj} t_{kj} \right] \alpha_{nj} Y_{nj} (\alpha_{nj}) t_j, \quad (1)$$

де ΔN_j , t_j – величини приросту потужності навантаження системи і тривалість даного приросту в j -му розрізі часу; U_{ij} , t_{ij} – величини швидкості і часу зростання навантаження з урахуванням часу пуску i -го агрегату, який вмикається в j -й момент часу; P'_j – вірогідність існування приросту потужності в результаті зміни складу і величин навантажень споживачів в системі; ΔN_{kj} – величина набору навантаження k -ми агрегатами, які працюють в системі j -му розрізі часу.

Рівень навантаження, який набирається k -м агрегатом системи в j -му розрізі часу визначається за виразом

$$\Delta N_{kj} = U_{kj} t_{kj}, \quad (2)$$

де U_{kj} , t_{kj} – швидкість і час зростання набору навантаження k -м агрегатом системи в j -му розрізі часу.

Для рівня навантажень споживачів системи аналогічно отримуємо

$$\Delta N_j = U_j t_j, \quad (3)$$

де U_j – швидкість зміни навантаження споживачів.

З урахування вищезазначеного вираз (1) набуває вигляду:

$$K_1 = \sum \left[U_j t_j P'_j - \sum_{i=1}^I U_{ij} t_{ij} - \sum_{k=1}^K U_{kj} t_{kj} \right] \alpha_{nj} Y_{nj} (\alpha_{nj}) t_j \quad (4)$$

Вираз (1) та аналогічний йому вираз (4) будуть справедливими у тому випадку, коли сумарна потужність набору навантаження агрегатами, які вже працювали та щойно увімкнулись і мають можливість додаткового збільшення навантаження, не перевищує швидкості зміни потужності системи. Така умова може бути представлена у вигляді нерівності:

$$U_j t_j P_j \geq \sum_{i=1}^I U_{ij} t_{ij} + \sum_{k=1}^K U_{kj} t_{kj} \quad (5)$$

Оптимізація виразу (4) повинна виконуватись з урахування обмеження (5).

Критерій K_2 , який відображає вироблення на станціях електроенергії з підвищеними питомими витратами палива, яке зумовлене граничним навантаженням агрегатів станцій системи, можна представити у вигляді виразу:

$$K2 = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \left(B_{kj}^n \cdot C_{kj}^n - B_{kj}^H \cdot C_{kj}^H \right) \cdot \Delta N_{kj} \cdot t_{kj} \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

де B_{kj}^n, C_{kj}^n – відповідно середня питома витрата палива та його вартість на k -х станціях, враховуючи балансуєчий пункт системи, який прийняв на себе додаткове перевищення потужності системи у момент часу t_{kj} ; B_{kj}^H, C_{kj}^H – відповідно середня питома витрата палива та його вартість на основному складі агрегатів системи, які працюють до перевищення навантаження.

Критерій $K3$ відображає вироблення електроенергії з підвищеними питомими витратами палива через розвантаження основних агрегатів системи та часткового набору навантаження агрегатами, які включаються, може бути записаний у вигляді:

$$K3 = \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \left(B_{lj}^H \cdot C_{lj}^H - B_{kj}^n \cdot C_{kj}^n \right) \cdot \Delta N_{lj} \cdot t_{lj} \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

де B_{kj}^n, C_{kj}^n – середня питома витрата палива і його вартість на l -х станціях, враховуючи балансуєчий пункт системи, який був розвантажений в зв'язку з завчасним пуском таких l -х агрегатів системи для забезпечення необхідної маневровості системи в j -й момент часу.

Такий стан має місце за умови, що завчасний набір додаткового навантаження агрегатами системи випереджає зростання навантаження споживачів системи, тобто дотримується умова виду:

$$\sum_{i=1}^I U_{ij} \cdot t_{ij} \geq U_j \cdot t_j \cdot P_i \quad (8)$$

Критерій $K4$ відображає витрату палива на увімкнених додаткових агрегатах в період завчасності і може бути записаний у вигляді:

$$K4 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I B_{ij} \cdot C_{ij} \cdot U_{ij} \cdot t_{ij} \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

Ця математична модель дозволяє виявити закономірності впливу зростання навантаження і витрат палива в системі агрегатів, які вмикаються, на рівень завчасності вмикання цих агрегатів. Останній досить легко може бути виявлений при оптимізації цільової функції $f(x)$, яка може бути реалізована за допомогою методів нелінійного програмування [1,3].

Таким чином, техніко-економічна модель обліку критерію маневровості агрегатів станцій системи, які вмикаються (або вимикаються), дозволяє визначити оптимальний рівень завчасності увімкнення (або вимкнення) агрегатів системи для різних значень зростання навантаження в системі і витрат палива для агрегатів, які досліджуються.

Під час експлуатації електричних систем доволі часто виникає необхідність в пріоритетному використанні певного виду енергоресурсів. У цьому випадку критерій, який відображає переважне використання обраного

виду палива (δ') протягом періоду, який розглядається, може бути представлена у вигляді критерію K5:

$$K5 = \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{m=1}^M B_{\sigma' jfm} \Delta t_j \rightarrow \max \quad (10)$$

Такі ситуації можуть також виникати, коли необхідно економити інші види енергоресурсів.

Зазначимо, що в цьому випадку необхідно використовувати критерій K6, який відображає економію певного виду палива (δ'') за період, який розглядається, і має вигляд аналогічний (10), але повинен бути мінімізований, тобто

$$K6 = \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{m=1}^M B_{\sigma'' jfm} \Delta t_j \rightarrow \min.$$

Висновок. Відзначимо, що існує значна кількість критеріїв, які характеризують режими функціонування систем, з яких фахівцям необхідно безпомилково обирати найбільш важливі критерії для ефективного керування режимами роботи певної електричної системи.

Перелік посилань

1. Долгов П.П., Панин А.А., Щавелев Д.С. Об учете в экономических расчетах маневренности электрических станций. – Электрические станции, 1971, № 9, с. 6-9.
2. Кузнецов Ю.Л. Надежность и экономичность оборудования тепловых электростанций, 1977. – 184с.
3. Кузнецов В.Г. Оптимизация режимов электрических сетей/ В.Г. Кузнецов, Ю.И. Тугай, В.А. Баженов. – К.: Наукова думка, 1992. – 216 с.
4. Непомнящий В.А. Учет надежности при проектировании . Энергоатом. – М.: Энергия, 1978. – 200с.
5. Сулейманов В.М. Оптимальное распределения активных и реактивных нагрузок в энергетических системах с учетом фактора надежности . – Тезисы докладов – Новосибирск, 1982, с. 47-48.