

## ВИРІВНЮВАННЯ ГРАФІКУ НАВАНТАЖЕННЯ. АКУМУЛЯЦІЯ

Тішкевич Д.О., студентка, Клепко К.В., студентка, Моссаковський В.І., асистент

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем*

**Вступ.** З метою забезпечення збільшення коефіцієнту використання установленної потужності системи, зменшення часу простою генеруючої потужності, зниження споживання палива виконується вирівнювання графіку електричного навантаження. Під найпростішим зі способів вирівнювання графіку розуміють перенесення навантажень із пікової зони до базисної, піднімаючи величину мінімального навантаження [1].

Інший спосіб вирівнювання графіків навантажень передбачає установку накопичувачів енергії, за якого насамперед не передбачається змін в технологічному процесі, що розглядається. В даній роботі розглядається саме цей варіант.

Існуючі накопичувачі розділяються на три великих групи, кожна з яких розподіляється за типами [2]:

1. Електроенергетичні: магнітні (надпровідникові електромагніти) та електростатичні (ультраконденсатори);

2. Хімічні: власне хімічні (аккумуляторні батареї) та електрохімічні (паливні комірки);

3. Механічні: кінетичні (маховики) та потенціальні (ГАЕС).

В [3] вказується на необхідність встановлювати накопичувачі на кожній ланці електропередавальної системи: від генерації до кінцевого споживача та утилізації відходів виробництва електричної енергії. Якщо ж мова йде про автономну мережу, то наявність засобів акумуляції енергії є вкрай необхідним. Така ж сама ситуація виникає і у випадку наявності в мережі відновлюваних джерел енергії.

Для системи, особливо автономної, наявність засобів акумуляції дозволяє згладжувати пікові значення навантаження, демпфірувати коливання навантаження, демпфірувати реакцію системи на різкий накид навантаження та надати навантаженню системи рівномірного характеру.

**Мета роботи:** виконати процедуру вирівнювання графіку навантаження з використанням накопичувача енергії, та порівняти показники вихідного та вирівняного графіків на прикладі автономної системи.

**Матеріали і результати досліджень.** Розглянемо добовий графік навантаження суднової електростанції, в якості прикладу автономної мережі, рис. 1 [4].

Вихідний графік має наступні характеристики:

- кількість переданої активної енергії, кВт·год – 2947,4;
- кількість годин використання максимуму навантаження – 16,47;
- мінімальна потужність, кВт – 83;
- середня потужність, кВт – 122,81;

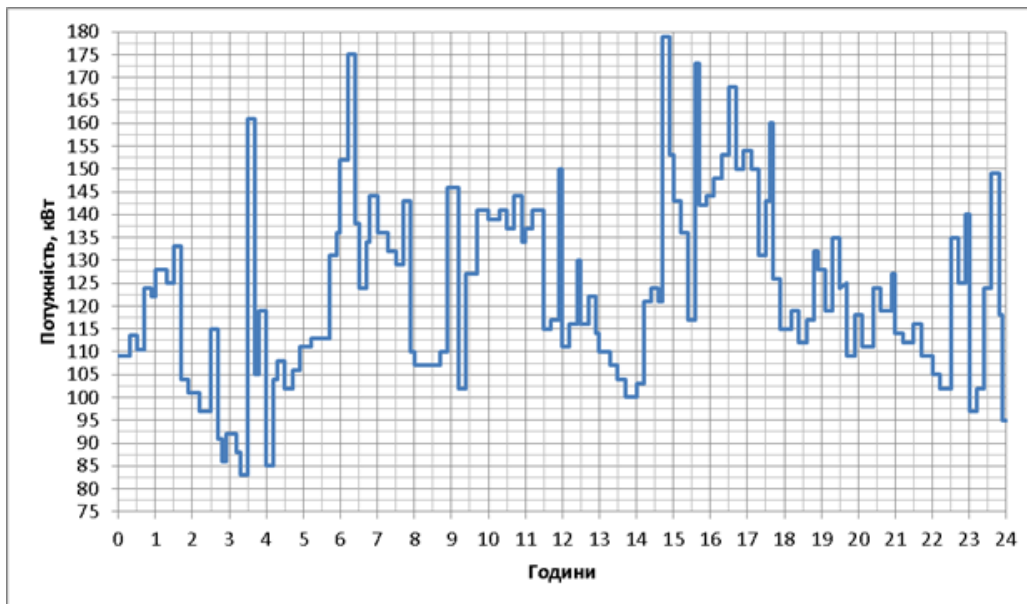


Рисунок 1 – Вихідний графік навантаження судової електростанції

- максимальна потужність, кВт – 179;
- коефіцієнт нерівномірності – 0,46;
- коефіцієнт щільності – 0,69.

Заданося об'єм доступної для акумуляції активної енергії. В даному випадку почнемо з частки в розмірі 10% від максимальної потужності навантаження. Варто зазначити, що 10% від пікової потужності в даному випадку становить 17,9 кВт. Об'єм активної енергії, доступної для акумуляції складає 17,9 кВт·год.

Цей об'єм активної енергії,  $A_0$ , характеризується потужністю  $P_0$ , що підтримується впродовж часу  $\Delta t_0$ , яку з точки зору геометрії можна зобразити прямокутником з площею  $A_0 = P_0 \cdot \Delta t_0$ . Об'єм потужності для видачі можна збільшувати, але пропорційно зменшується час (рис. 2, індекс 1); так само, якщо об'єм потужності для видачі зменшується, можливо збільшити час видачі (рис. 2, індекс 2).

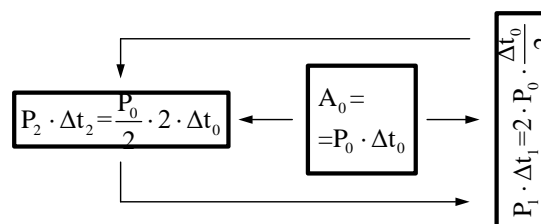


Рисунок 2 – Графічна ілюстрація об'єму енергії, що використовується для вирівнювання

Використовуючи об'єм доступної для акумуляції активної енергії  $A_0$  заповнимо провал графіку (рис. 3а). Під час заповнення провалів має місце заряд акумулятора. Потрібно обчислити значення потужності  $P_x$  яка перекриє наведені  $P_1, P_2, P_3$  та  $P_4$  на проміжках часу  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$  та  $\Delta t_4$ . Рівняння балансу енергій:

$$(P_x - P_1) \cdot \Delta t_1 + (P_x - P_2) \cdot \Delta t_2 + (P_x - P_3) \cdot \Delta t_3 + (P_x - P_4) \cdot \Delta t_4 = A_0 \quad (1)$$

Визначимо  $P_x$ , з даного балансу:

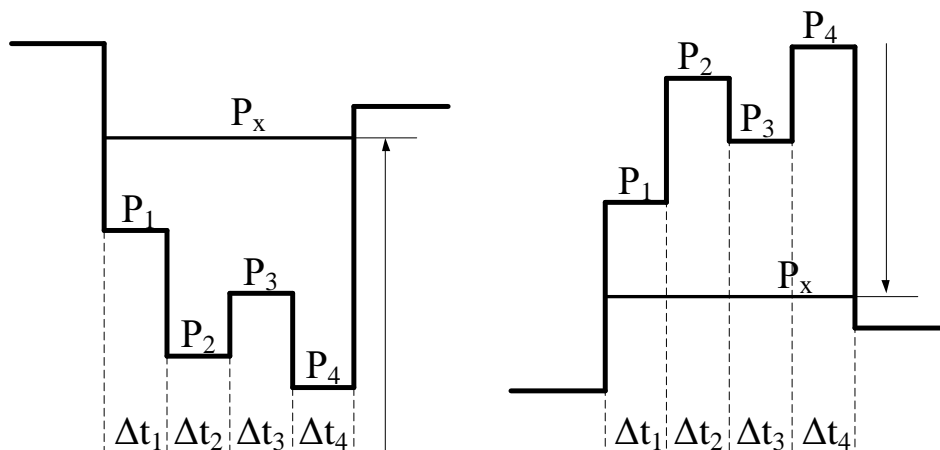
$$P_x = \frac{A_0 + \sum_1^4 P_i \cdot \Delta t_i}{\sum_1^4 \Delta t_i} \quad (2)$$

Використовуючи об'єм доступної для акумуляції активної енергії  $A_0$  згладимо пікові області графіку (рис. 3б). Під час згладжування піків має місце розряд акумулятора. Потрібно обчислити значення потужності  $P_x$  яка перекриє наведені  $P_1, P_2, P_3$  та  $P_4$  на проміжках часу  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$  та  $\Delta t_4$ . Рекомендується розряджати акумулятор не більше ніж на 70%. Складемо рівняння балансу енергій:

$$(P_1 - P_x) \cdot \Delta t_1 + (P_2 - P_x) \cdot \Delta t_2 + (P_3 - P_x) \cdot \Delta t_3 + (P_4 - P_x) \cdot \Delta t_4 = 0,7 \cdot A_0 \quad (3)$$

Визначимо  $P_x$ , з даного балансу:

$$P_x = \frac{\sum_1^4 (P_i \cdot \Delta t_i) - 0,7 \cdot A_0}{\sum_1^4 \Delta t_i} \quad (4)$$



а) – заповнення провалу

б) – згладжування піку

Рисунок 3 – Визначення потужності для вирівнювання

В ідеальному випадку потрібно згладжувати піки та заповнювати провали таким чином, аби вийти на середню потужність  $P_{cp}$  вихідного графіку. Так, на рис. 4. наведено результат вирівнювання графіку навантаження із вказівкою на середню потужність, на яку потрібно було вийти.

Отриманий графік має наступні характеристики:

- кількість переданої активної енергії, кВт·год – 3077,1;
- кількість годин використання максимуму навантаження – 22,63;
- мінімальна потужність, кВт – 120;
- середня потужність, кВт – 128,21;
- максимальна потужність, кВт – 136;
- коефіцієнт нерівномірності – 0,88;
- коефіцієнт щільності – 0,94.

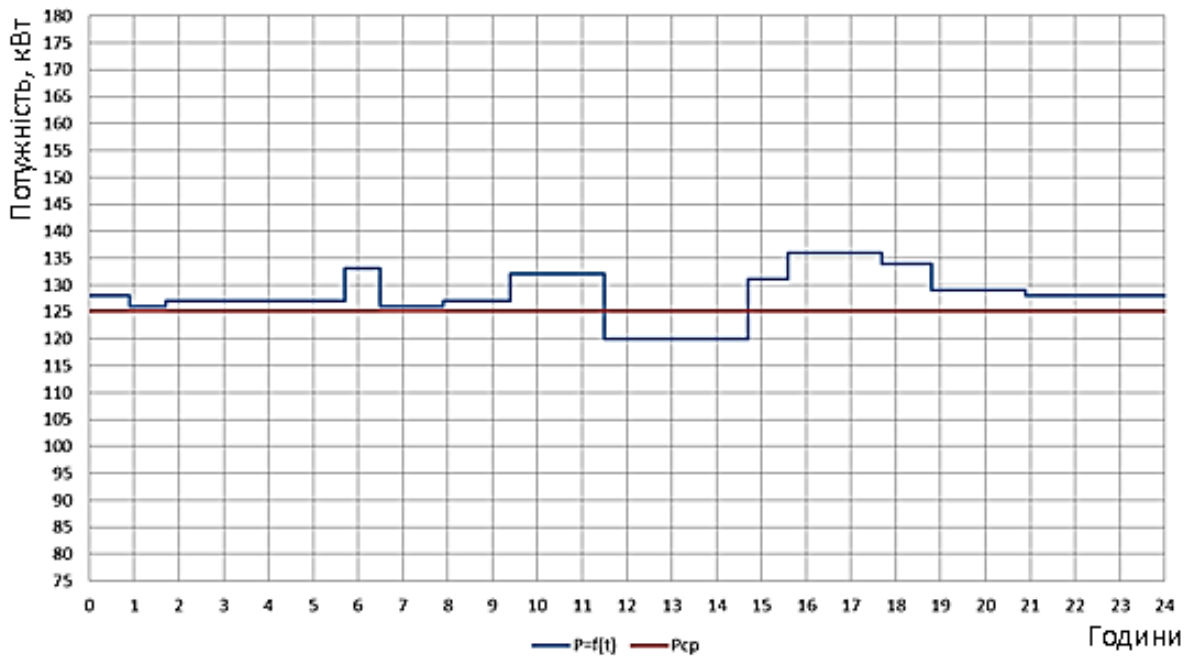


Рисунок 4 – Графік після вирівнювання

**Висновки.** Показано, що за наявності засобу акумуляції енергії установлені потужності 10% від пікового навантаження чинить істотний вплив на графік видачі потужності електростанцією. Вихідний графік був суцільним динамічним перехідним процесом чого не спостерігається після застосування засобу акумуляції. Жодних змін в технологічному процесі не відбувалося

Після вирівнювання зросли кількість годин використання максимуму навантаження на 6,16 год, та коефіцієнт нерівномірності – вдвічі. Базис було піднято на 37 кВт. Об'єм виробленої активної енергії зріс на 130 кВт·год.

В [2] засобом акумуляції слугувала паливна комірка, як хімічний засіб накопичення, встановленою потужністю 400 кВт. В даному випадку використовувалися акумуляторні батареї встановленою потужністю 17,9 кВт.

Під час розрахунку не бралися до уваги часи заряду та розряду акумуляторних батарей, та часи перехідного процесу рушія при зміні навантаження.

Існує необхідність в подальшому виконати техніко-економічні розрахунки для урахування вартості спорудження та обслуговування пункту акумуляції та зміни у споживанні палива приводом генератора.

#### Перелік посилань

1. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.
2. Muhammad Umair Mutarraf, Yacine Terriche, Kamran Ali Khan Niazi, Juan C. Vasquez and Josep M. Guerrero “Energy Storage Systems for Shipboard Microgrids - A Review”. Energies 2018, 11.
3. Haisheng Chen, Thang Ngoc Cong, Wei Yang, Chunqing Tan, Yongliang Li, Yulong Ding “Progress in electrical energy storage system: A critical review”. Progress in Natural Science 19 (2009).
4. Лейкин В. С. Судовые электрические станции и сети: Учебник для мореходных и арктических училищ. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Транспорт, 1982.