

ОПЕРАТИВНЕ КЕРУВАННЯ БАЛАНСОМ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ШЛЯХОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ В КОЖНІЙ ОКРЕМІЙ ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядається проблема забезпечення надійного електроенергопостачання в умовах зростаючої частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у складі локальних електроенергетичних систем (ЛЕС). Зокрема, аналізується доцільність оптимального поєднання сонячної та вітрової генерації, використання систем акумулювання енергії та резервних керованих джерел для балансування потужності в умовах змінного навантаження. Запропоновано математичну модель функціонування ЛЕС, яка враховує стохастичний характер виробництва та споживання енергії, а також динаміку зарядного стану акумуляторів. У межах оптимізаційного підходу сформульовано технічні, економічні та екологічні критерії ефективності функціонування системи, включаючи мінімізацію енергетичних втрат, питомих витрат пального та вартості обладнання. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення надійності та ресурсоефективності ЛЕС систем із ВДЕ за умов обмеженого доступу до централізованих мереж.

Ключові слова: локальна електроенергетична система (ЛЕС), відновлювані джерела енергії (ВДЕ), баланс потужності.

Abstract

This paper addresses the challenge of ensuring reliable power supply in local energy systems (LES) with a growing share of renewable energy sources (RES). It analyzes the effectiveness of optimally combining solar and wind generation, along with energy storage systems and backup dispatchable sources, to maintain power balance under variable load conditions. A mathematical model of LES operation is proposed, taking into account the stochastic nature of energy production and consumption, as well as the dynamic state of charge of batteries. The optimization approach integrates technical, economic, and environmental performance criteria, including minimization of energy losses, specific fuel consumption, and equipment costs. The research findings can be used to improve the reliability and resource efficiency of decentralized energy systems utilizing RES in areas with limited access to centralized power grids.

Keywords: local energy system (LES), renewable energy sources (RES), power balance.

У процесі впровадження вітрової та сонячної енергетики виникає проблема створення додаткових регулюючих потужностей для забезпечення стабільного енергопостачання в періоди, коли енергія не надходить із відновлюваних джерел у достатньому обсязі.

Локальна енергетична система (ЛЕС) є ефективним рішенням для окремих споживачів, підключення яких до віддалених районів або центральних ліній електропередач є економічно невигідним або складним. Формування та підтримка балансу у ЛЕС, де присутній змінний характер сонячних і вітрових джерел може бути частково подоланий шляхом комбінування цих двох джерел в оптимальному поєднанні. Надлишкова потужність одного джерела може компенсувати недостатню потужність іншого протягом певного періоду часу, що робить систему більш надійною. Також до основних засобів запобігання небалансу можна віднести системи акумулювання електроенергії та додаткові засоби типу резервного керованого генератора.

Однією з особливостей локальної енергосистеми є необхідність оптимізації складу та характеристик генеруючих потужностей, а також режиму їхньої спільної роботи для підтримки балансу потужностей в кожній окремій ЛЕС. Така оптимізація вимагає врахування деталей енергоспоживання, вимог до надійності, доступності відновлюваних джерел енергії та показників вартості.

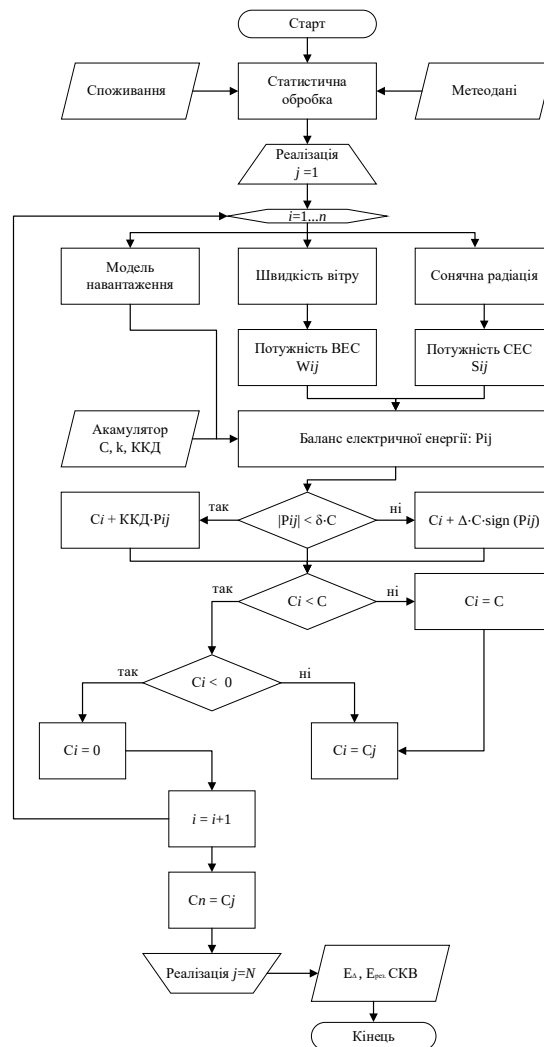


Рисунок 1 - Математична модель сумісної роботи ЛЕС з ВДЕ [1]

Математична модель сумісної роботи відновлюваних джерел в системі зі змінним навантаженням, засобами акумулювання електроенергії та допоміжним регульовальним генератором, реалізується у вигляді послідовних моделей генерації і споживання енергії, що описують поточний стан енергосистеми як випадковий процес (рис. 1). Де C – повна ємність акумулятора, k – коефіцієнт швидкодії, C_i - поточний стан зарядки акумулятора, $E_{рез}$ СКВ - визначає загальну кількість збереженої енергії, включаючи повторні цикли, і визначає загальну ефективність енергосистеми

При цьому критеріями роботи енергосистеми є не лише показники надійності, яких можна досягти за умов нормального виробництва електроенергії, але й економічні та екологічні стандарти. Таким чином, при використанні резервних джерел енергії на основі двигунів внутрішнього згоряння до оцінки надійності додається вимога щодо максимального використання відновлюваних джерел енергії з метою мінімізації витрат пального та зниження вартості електроенергії.

У межах дослідження в якості контрольного параметра розглядаються техніко-експлуатаційні характеристики систем акумулювання енергії, зокрема, їх номінальна потужність та електроємність, а також потенціал резервних джерел балансування навантаження, таких як дизель-генераторні установки. В якості критеріїв оптимальності функціонування енергосистеми можуть застосовуватися: показники варіативності (дисперсія, коефіцієнт варіації) інтегрального енергетичного балансу, які характеризують рівень прогнозованості режимів роботи системи; обсяг втрат електричної енергії, що підлягає мінімізації, або обсяг збереженої енергії, що підлягає максимізації; показники питомих витрат паливних ресурсів; загальна вартість виробленої та переданої енергії, що має бути мінімальною в умовах забезпечення належного рівня надійності системи. Таким чином, в рамках оптимізаційного підходу традиційно поєднуються технічні критерії, що гарантують безперебійну роботу енергосистеми, та економічні критерії, які відображають прагнення до ресурсоефективності та фінансової доцільності впроваджених рішень. [2]

Оптимізаційні критерії, що базуються на найбільш поширених вимогах до ЛЕС з ВДЕ, формуються так:

- загальна вироблена енергія приблизно дорівнює спожитій, тобто математичне очікування дисбалансу зведене до мінімуму;
- енергетичний дисбаланс має бути мінімальним, тобто дисперсія дисбалансу зведена до мінімуму;
- обмеження режиму роботи резервного джерела;
- обмеження надлишку або нестачі енергії;
- мінімізація вартості обладнання, виражена у детермінованих величинах.

Для оцінки впливу на надійність електропостачання споживачів можуть бути використані такі показники:

- прогнозовані втрати навантаження – час, коли навантаження на енергосистему перевищує поточну виробничу потужність (год / рік);
- прогнозовані втрати енергії – очікувана кількість втраченої енергії за рік (МВт·год / рік);
- прогнозована частота втрат навантаження – кількість випадків, коли потужності генерації є недостатніми (випадків / рік).
- прогнозована невикористана енергія за певний період – надлишкова енергія, яка не була витрачена або накопичена (МВт·год / рік).[3]

Значення показника надійності балансу має визначатися на основі рівня надійності, що покриває споживану електроенергію, а додаткові витрати на його підвищення будуть більш ніж компенсовані можливим рівнем втрат.

Реалізація комплексу заходів разом зі спеціальними умовами підключення об'єктів відновлюваної енергетики до електроенергосистем може забезпечити високу ефективність та використання значної кількості відновлюваної енергії за прийнятних умов і з високим коефіцієнтом корисної дії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія / М. П. Кузнєцов. — Київ: ІВЕ, 2022. — 142 с.
2. Оцінювання впливу джерел відновлюваної енергії на забезпечення балансової надійності в електричній мережі. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Собчук Д.С. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 6. с. 45–47.
3. Impact of variable renewable energy sources on the power system frequency stability and system inertia Godfrey Macharia Njoka, Lucas Mogaka, Agnes Wangai. Energy Reports, Volume 12, December 2024, Pages 4983–4997 <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.10.057>

Лежнюк Петро Дем'янович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, email : lezhpd@gmail.com

Повстянко Катерина Олександрівна – аспірантка, кафедра ЕСС, ВНТУ, Вінниця, e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com

Lezhniuk Petro – Dr. tech. Sciences, Prof., Prof. of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsya, email : lezhpd@gmail.com

Povstianko Kateryna – graduate student, Department of Department of Power Plants and Systems, VNTU, Vinnytsia, e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com