

Євген Філіповіч
Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного
Науковий керівник: к.т.н, доцент Любов Коваленко,
к.т.н, доцент Олександр Коваленко

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОМБІНОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗІ ЗМІННИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Зростання енергоспоживання та зростаючий попит на екологічно чисті технології сприяють активному впровадженню систем комбінованого електропостачання (СКЕ). Поєднання традиційних і відновлюваних джерел енергії дозволяє забезпечити стабільність, гнучкість та оптимальну вартість електроенергії, водночас знижуючи негативний вплив на довкілля. Особливо актуальним це є для регіонів із нестабільними погодними умовами та нерівномірною генерацією енергії з відновлюваних джерел.

Останнім часом все частіше з'являються дослідження про поєднання декількох джерел зі змінною генерацією [1; 2]. У роботах [3; 4] детально досліджуються техніко-економічні аспекти гібридних енергосистем, що об'єднують сонячні панелі, вітрогенератори та дизель-генератори. Автори підкреслюють важливість оптимізації складу та потужності джерел для мінімізації собівартості енергії. Дослідження [5] присвячені ролі систем накопичення енергії, зокрема літій-іонних акумуляторів, як ключового елемента для компенсації мінливості відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Розглядаються стратегії керування зарядом-розрядом акумуляторів для вирівнювання графіка навантаження та забезпечення резервного живлення [5; 6]. У роботі [7] робиться акцент на використанні сучасних методів прогнозування генерації від ВДЕ на основі штучного інтелекту та машинного навчання, що є критично важливим для ефективного диспетчерського управління СКЕ. Значна кількість робіт присвячена оптимізації алгоритмів керування гібридними системами. Використовуються методи прогнозування енергогенерації,

інтелектуальні системи керування та моделі економічної доцільності для підвищення ефективності таких комплексів.

Однак, попри значну кількість публікацій, питання комплексної інтеграції змінних відновлюваних джерел, систем накопичення та інтелектуальних алгоритмів керування залишається відкритим [5; 6]. Більшість досліджень зосереджені на окремих аспектах (економічній ефективності, оптимізації складу джерел чи прогнозуванні генерації), проте бракує узагальнених рішень, які враховують одночасно технічні, економічні та екологічні чинники. Саме тому тема комбінованих систем електропостачання, відповідаючи на виклики енергетичної безпеки, екологічної стійкості та економічної доцільності, а також відкриваючи перспективи для розвитку гнучких і адаптивних енергетичних комплексів у сучасних умовах, залишається актуальною.

Метою роботи є розробка та дослідження алгоритму прогнозування генерації ВДЕ та керування потоками електроенергії у комбінованих системах електропостачання.

Типова система комбінованого електропостачання включає чотири основні компоненти (рис. 1): первинні джерела енергії (змінні ВДЕ); резервні джерела (дизель- або газогенератори, біогенератори тощо); системи накопичення енергії (акумуляторні батареї (АКБ)); система керування та силова електроніка (контролери заряду, інвертори, центральний контролер (мікропроцесор) [4].

Ефективність СКЕ повністю залежить від інтелектуальної системи керування. Вона може бути реалізована в кілька стратегій. За першою система намагається максимально використовувати безкоштовну енергію сонця та вітру. Надлишки спрямовуються на заряджання АКБ. Якщо генерації від ВДЕ недостатньо для покриття навантаження, енергія починає відбиратися з акумуляторів. Генератор вмикається лише у разі глибокого розряду АКБ або при тривалій відсутності ВДЕ.

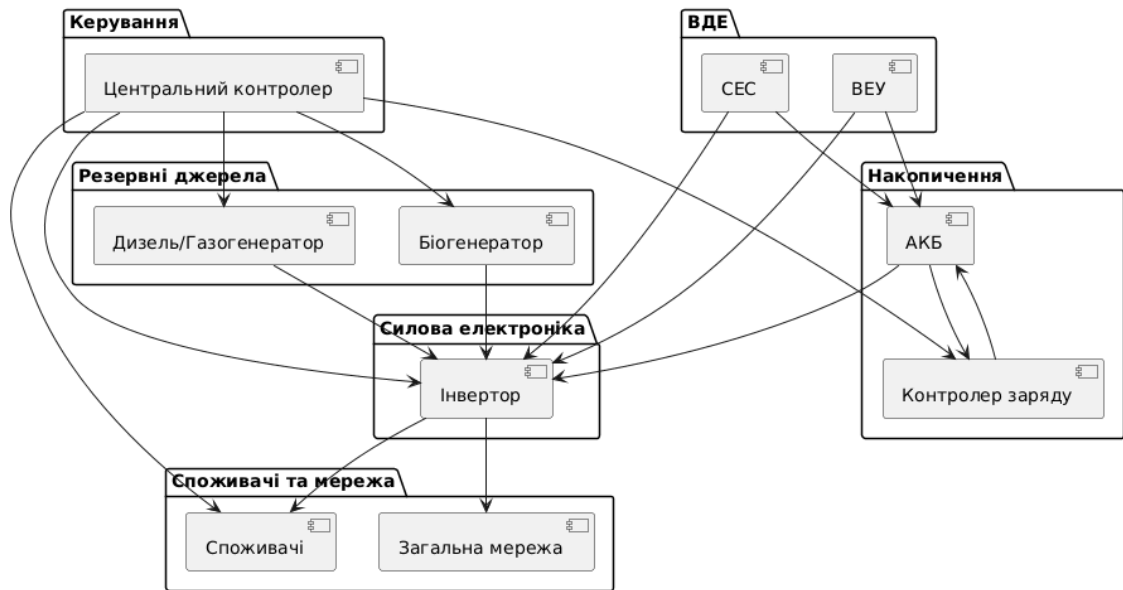


Рисунок 1 – Архітектура комбінованої системи електропостачання

Основний принцип роботи комбінованої системи полягає в оптимальному розподілі потоків енергії з різних джерел за допомогою інтелектуальних систем керування. Контролери оцінюють поточне навантаження, прогноз погоди, стан акумуляторів і визначають, які джерела мають працювати в конкретний момент.

Для перевірки працездатності запропонованого алгоритму прогнозування генерації та керування потоками енергії було обрано середовище Matlab. Воно забезпечує широкі можливості для моделювання енергетичних систем, роботи з часовими рядами та візуалізації результатів.

У рамках дослідження побудовано спрощену модель комбінованої системи електропостачання, яка включає сонячну та вітрову генерацію, акумуляторну батарею та резервний генератор. На основі прогнозних даних (сонячна радіація, швидкість вітру, профіль навантаження) реалізовано алгоритм керування потоками енергії (рис. 2). Моделювання дозволяє оцінити зміну стану заряду акумулятора (SOC), моменти запуску генератора, а також баланс між виробленою та спожитою енергією [4 - 6].

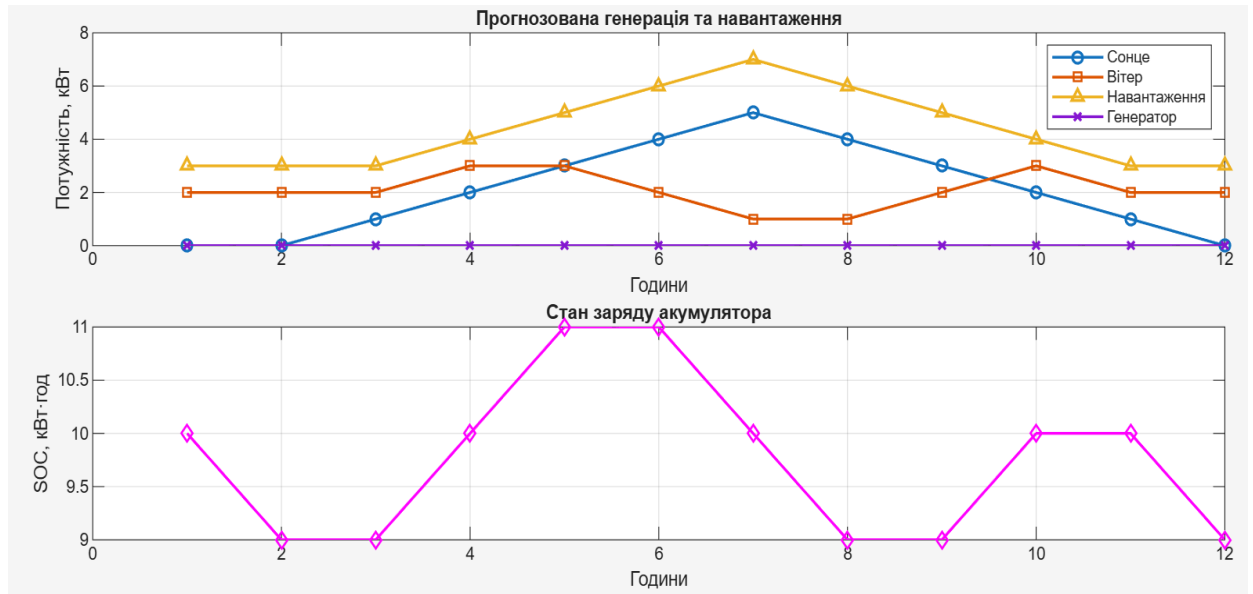


Рисунок 2 – Результати роботи алгоритму прогнозування генерації та керування потоками енергії

На рис. 2 наведено результати роботи алгоритму прогнозування генерації та керування потоками енергії у комбінованій системі електропостачання протягом 12 годин.

Перший графік ілюструє прогнозовану потужність генерації від сонячної та вітрової установки, навантаження споживача та обсяг енергії, яку забезпечує резервний генератор. Сонячна генерація має виражений денний максимум, що відповідає піковій сонячній радіації. Вітрова генерація демонструє нерівномірний характер, з коливаннями потужності протягом доби. Навантаження має стабільну базову складову з вечірнім піком, що характерно для побутового споживання. Генератор активується лише в ті години, коли прогнозована генерація та доступний заряд акумулятора не здатні покрити навантаження. На другому графіку представлено зміну стану заряду акумуляторної батареї: у години надлишкової генерації SOC зростає, досягаючи максимальної ємності; у періоди дефіциту енергії акумулятор розряджається, компенсуючи навантаження без потреби в генераторі; генератор запускається лише при повному розряді АКБ, що дозволяє мінімізувати витрати палива та викиди CO₂.

Можна стверджувати, що результати підтверджують працездатність алгоритму: система адаптивно реагує на зміни генерації та навантаження, забезпечуючи енергетичний баланс із пріоритетом використання відновлюваних джерел та накопичувачів. Запропонований алгоритм базується на використанні даних погодних прогнозів та враховує змінність сонячної й вітрової генерації, стан заряду акумуляторних батарей та потреби навантаження.

Таким чином, запропонований алгоритм прогнозування генерації та керування потоками енергії дозволяє ефективно балансувати змінну генерацію від ВДЕ, потреби навантаження та стан заряду акумуляторної батареї. Отримані результати можуть бути основою для подальшої оптимізації систем комбінованого електропостачання з урахуванням економічних та екологічних критеріїв.

ЛІТЕРАТУРА

7. Алгаєв О.З. Комбінована система електропостачання сільськогосподарського підприємства : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Алгаєв Олександр Заурович. Київ, 2024. 82 с.
8. Amdulla O. Mekhrabov, Rzayev R.M., Naghiyev T.G. Current Status and Future Prospects of Hybrid Wind and Solar (PV) Energy Systems in Terms of Contribution to Sustainable Development Goals. *Appl. Sol. Energy*. 2025. V. 61. Pp. 216-223.
9. Almutairi K., Hosseini Dehshiri S.S., Hosseini Dehshiri S.J., Mostafaeipour A., Issakhov A., Techato K. Use of a Hybrid Wind-Solar-Diesel-Battery Energy System to Power Buildings in Remote Areas: A Case Study. *Sustainability*. 2021. V. 13(16). P. 8764.
10. Науменко О. Комбіновані рішення: СЕС і дизель-генератор для пікових навантажень. *Generacia Energy* [Електронний ресурс]. URL: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/kombinovani-rishennja-ses-i-dizel-generator-dlja-pikovih-navantazhen/> (дата звернення: 25.11.2025).
11. Luo X., Wang J., Dooner M., Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied energy*. 2015. V. 137. Pp. 511-536.
12. Nottrott A., Kleissl J., Washom B. Energy dispatch schedule optimization and cost benefit analysis for grid-connected, photovoltaic-battery storage systems. *Renewable Energy*. 2013. V. 55. Pp. 230-240.
13. Voyant C., Notton G., Kalogirou S., Nivet M. L., Paoli C., Motte F., Fouilloy A. Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. *Renewable energy*. 2017. V. 105. Pp. 569-582.