

УДК 621.31:535.215

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ НА ПОЧАТКОВОМУ ЕТАПІ ГІБРИДИЗАЦІЇ

Шведчикова І.О., доктор технічних наук, професор
Київський національний університет технологій та дизайну
Малий Я.С., аспірант
Київський національний університет технологій та дизайну
Швець Я.В., аспірант
Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: гібридна енергетична система, дизельний генератор, акумуляторна батарея, енергонезалежність, відновлюване джерело енергії.

У сучасних умовах для електрозабезпечення локальних об'єктів використовують гібридні енергетичні системи, які об'єднують у своєму складі декілька джерел генерації, включаючи відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Такі системи значно перевищують окремі технології за ефективністю [1], екологічністю [2] та надійністю електропостачання [3]. Процес інтеграції різнорідних джерел генерації в єдину систему отримав назву гібридизації (від англ. *hybridization*).

Аналіз інформаційних джерел показав, що в більшості наукових праць розглядаються типові технічні рішення гібридних енергетичних систем з точки зору їх структурної побудови, здійснюється визначення параметрів елементів систем та досліджуються технологічні, економічні й нормативні аспекти інтеграції. Так, в роботі [3] розглядається гібридна сонячно-вітрова система з накопичувачами енергії та з використанням дизель-генератора в автономному режимі для об'єкта залізничної інфраструктури. Дослідження спрямоване на зменшення глибини розряду акумуляторної батареї (АКБ) та обмеження споживання енергії з мережі в пікові години. Технологічна та економічна доцільність інтеграції фотоелектричних систем (ФЕС), вітрогенераторів, накопичувачів енергії в гібридну систему представлена в [4]. У той самий час на багатьох реальних об'єктах (логістичні центри, склади, віддалені та військові об'єкти) гібридні системи електрозабезпечення впроваджуються поетапно через обмеженість фінансових ресурсів. Особливості практичної реалізації поетапної гібридизації на сьогодні досліджені недостатньо. Тому метою роботи є поетапне формування структури системи електроживлення реального логістичного об'єкта та розробка методики гібридизації.

Як об'єкт дослідження розглядається типовий логістичний центр (ЛЦ) Укрпошти для обробки, зберігання та переміщення поштових відправлень, який знаходиться у місті Чернігові. Електроживлення ЛЦ організовано від розподільної мережі. У разі відключень електроенергії використовується резервний дизельний генератор (ДГ) потужністю 60 кВт типу PlusPowerGF2-60, призначений для тривалої

роботи під навантаженням [5]. В умовах частих знеструмлень та постійного зростання цін на дизельне пальне для забезпечення енергонезалежної роботи ЛЦ планується поступове переведення частини навантаження на живлення від АКБ. Перехід від дизельної до дизельно-аккумуляторної системи електроживлення потребує визначення годин роботи ДГ, які доцільно перевести на АКБ для зниження витрат палива. В роботі пропонується методика початкової гібридизації системи електрозабезпечення ЛЦ, яка охоплює наступні етапи.

На *першому етапі* проводиться аналіз ефективності роботи ДГ впродовж робочої зміни (з 6:00 до 20:00 включно). Для цього були здійснені розрахунки, які показали, що більшість часу ДГ працює без перевантаження: з 6:00 до 11:00 – ДГ завантажений на 38 – 74%, з 15:00 до 18:00 – на 53 – 76 % від номінальної потужності P_{DG} , відповідно. Вдень під час ковзної перерви (з 12:00 до 14:00) відбувається короткочасне підвищення навантаження ДГ до $(0,91-0,92)P_{DG}$. Були розраховані погодинні витрати пального для ДГ за робочу зміну. Встановлено, що ефективність використання палива покращується, коли ДГ працює при $(0,6 - 0,8)P_{DG}$. При навантаженні менше $(0,25 - 0,3)P_{DG}$ ККД ДГ різко падає, збільшується знос приводного двигуна.

На *другому етапі* на основі аналізу режимів роботи ДГ проведено розподіл навантаження за зонами з визначенням областей доцільного використання АКБ. Результати зонування навантаження ЛЦ узагальнено в табл. 1, де P_L позначає потужність навантаження, Вт.

Таблиця 1

Зонування навантаження логістичного центру

Зони навантаження	Характеристика навантаження	Режими роботи джерел генерації
Зона I, низьке навантаження	$P_L / P_{DG} \leq 0,4$, тривалість 3 години (6:00 – 7:00, 18:00 – 20:00).	ДГ неефективний, значно зростають витрати палива на вироблення 1 кВт·год електроенергії. Режим повної заміни дизельної генерації АКБ.
Зона II, середнє навантаження	$0,4 < P_L / P_{DG} \leq 0,8$ тривалість 9 годин (7:00 – 12:00, 14:00 – 18:00).	ДГ працює ефективно, споживання палива мінімальне в межах 0,33–0,37 л/кВт·год. Режим домінування дизельної генерації.
Зона III, високе навантаження	$0,8 < P_L / P_{DG} \leq 1$ тривалість 2 години (12:00 – 14:00)	ДГ працює на максимальній потужності, існують ризики перевантаження. Гібридний режим: виробниче навантаження живиться від ДГ, додаткове навантаження – від АКБ.

Додавання АКБ в денні години, коли навантаження зростає (зона III), є також доцільним з урахуванням майбутньої інтеграції з ФЕС, максимум генерації якої припадає на денний час. АКБ в майбутньому може

заряджатися від ФЕС або працювати в парі з нею для покриття пікового навантаження.

На *третьому етапі* передбачається оцінка економії палива при плануванні переходу дизельної системи на АКБ. Під час переходу на живлення навантаження від акумулятора, який використовується як «буфер» в години, коли ДГ тимчасово не працює, зменшуються витрати палива. Розрахунки показали, що додавання АКБ дозволяє зменшити сумарні витрати на закупівлю дизельного палива в 1,24 рази. Слід також зазначити, що під час перерви в ЛЦ для ДГ можуть бути застосовані технологічні (сервісні) паузи тривалістю 30 – 60 хвилин, які також впливають на споживання палива. За умови введення технологічних пауз витрати палива зменшуються в 1,305 – 1,37 разів залежно від тривалості паузи.

Таким чином, методика поетапної гібридизації, яка запропонована в роботі, дозволяє обґрунтовано розподілити навантаження між дизелем та АКБ, забезпечуючи можливість моделювання різних сценаріїв подорожчання палива та змін профілю навантаження, враховує перспективу включення ВДЕ. Додавання накопичувачів збільшує енергетичну автономність та зменшує витрати палива, але потребує додаткових початкових інвестиційних витрат. З огляду на це, напрямком подальших досліджень стає визначення раціонального значення початкової (стартової) ємності АКБ, яка має обиратися з урахуванням майбутньої інтеграції з ФЕС.

Список використаних джерел

1. Kaldeh, S.N.; Yousefi, H.; Noorollahi, Y.; Abdoos, M. Integration of renewable sources in buildings: A review of energy savings, feasibility, and challenges. *Energy Rep.* 2025, 14, 3905–3934. <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2025.10.046>
2. Shahid, M.N.; Shahid, M.U.; Irfan, M. Advances in Building Energy Management: A Comprehensive Review. *Buildings* 2025, 15, 4237. <https://doi.org/10.3390/buildings15234237>
3. Gerlici, J.; Shavolkin, O.; Kravchenko, O.; Shvedchykova, I.; Hama, Y. Improvement of the Hybrid Renewable Energy System for a Sustainable Power Supply of Transportation Infrastructure Objects. *Future Transp.* 2025, 5, 61. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5020061>
4. Thirumalai, S.K.; Karthick, A.; Dhal, P.K.; Pundir, S. Photovoltaic-wind-battery and diesel generator-based hybrid energy system for residential buildings in smart city Coimbatore. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2024, 31, 14229–14238. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32071-0>
5. Шведчикова І.О. Малий Я.С. Удосконалення системи енергозабезпечення логістичного об'єкта в умовах нестабільного електропостачання. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика»* №2(33) '2025. С. 18-29. <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2025-2-18-29>