

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено особливості застосування систем накопичення електричної енергії (Battery Energy Storage System, BESS) для підвищення енергоефективності активних споживачів. Розглянуто принципи інтеграції систем накопичення енергії з фотоелектричними станціями та можливості їх використання для оптимізації режимів електроспоживання промислових підприємств.

Як об'єкт дослідження розглянуто цементний завод із встановленою фотоелектричною станцією потужністю 5 МВт. Проведено вибір основного обладнання системи накопичення електричної енергії, визначено її раціональні параметри та досліджено режими роботи в умовах змінного добового графіка навантаження. Розглянуто використання нічного заряду від мережі, денного заряду від фотоелектричної станції та подальшого розряду у години максимального тарифу.

Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження системи накопичення електричної енергії. Результати дослідження підтвердили доцільність використання BESS для зменшення витрат на електропостачання, підвищення рівня використання електроенергії від фотоелектричної станції та покращення енергоефективності активного споживача.

Ключові слова: система накопичення електричної енергії, активний споживач, фотоелектрична станція, енергоефективність, energy shifting, peak shaving, електропостачання промислових підприємств.

Abstract

The paper investigates the application of Battery Energy Storage Systems (BESS) for improving the energy efficiency of active consumers. The principles of integrating energy storage systems with photovoltaic power plants and their application for optimizing electricity consumption of industrial enterprises are considered.

A cement plant equipped with a 5 MW photovoltaic power plant is selected as the object of study. The main equipment of the battery energy storage system is selected, its optimal parameters are determined, and its operating modes under varying daily load profiles are analyzed. Special attention is paid to charging the storage system from the grid during off-peak hours, charging from the photovoltaic power plant during daytime, and discharging during periods of high electricity prices.

A technical and economic assessment of the proposed solution is carried out. The obtained results confirm the feasibility of using BESS to reduce electricity costs, increase the utilization of photovoltaic generation, and improve the overall energy efficiency of active consumers.

Keywords: battery energy storage system, active consumer, photovoltaic power plant, energy efficiency, energy shifting, peak shaving, industrial power supply.

Вступ

У сучасних умовах розвитку електроенергетики все більшого поширення набуває концепція активного споживача, яка передбачає не лише споживання електричної енергії з мережі, а й використання власних генерувальних потужностей. Найбільш поширеним рішенням є впровадження фотоелектричних станцій, які дозволяють зменшити витрати на електропостачання та підвищити енергетичну незалежність підприємств. Водночас нерівномірний характер генерації сонячних електростанцій та відмінність між графіками виробництва і споживання електроенергії призводять до необхідності використання додаткових технічних засобів для підвищення ефективності роботи енергетичного комплексу.

Одним із найбільш перспективних рішень є застосування систем накопичення електричної енергії, які забезпечують накопичення електроенергії у періоди її надлишкового виробництва або низької вартості та подальше використання у години максимального навантаження. Використання таких систем дозволяє підвищити рівень використання відновлюваних джерел енергії, знизити навантаження на електричну мережу та підвищити енергоефективність підприємств.

Метою роботи є дослідження можливості застосування систем накопичення електричної енергії для підвищення енергоефективності активного споживача на прикладі цементного заводу з фотоелектричною станцією потужністю 5 МВт.

Результати дослідження

Однією з основних тенденцій розвитку сучасної електроенергетики є впровадження концепції активного споживача, яка передбачає не лише споживання електричної енергії з мережі, а й використання власних генерувальних потужностей [1]. Найбільш поширеним рішенням для промислових підприємств є встановлення фотоелектричних станцій, що дозволяють зменшити залежність від зовнішнього електропостачання та скоротити витрати на електроенергію [2].

Водночас генерація фотоелектричних станцій характеризується нерівномірністю та значною залежністю від погодних умов і часу доби. Максимальне виробництво електроенергії припадає на денні години, тоді як найбільше навантаження промислових підприємств часто спостерігається у ранковий та вечірній періоди. У результаті виникає невідповідність між графіками генерації та споживання електричної енергії, що призводить до неефективного використання власної генерації та збільшення обсягів споживання електроенергії з мережі [2].

Одним із найбільш ефективних способів вирішення зазначеної проблеми є застосування систем накопичення електричної енергії BESS, які дозволяють накопичувати електроенергію у періоди її надлишкового виробництва або низької вартості та використовувати її під час максимального навантаження [3]. Використання систем накопичення забезпечує підвищення рівня самоспоживання електроенергії від фотоелектричних станцій, зменшення пікових навантажень на електричну мережу та підвищення енергоефективності підприємства в цілому [6].

Як об'єкт дослідження було обрано цементний завод загальною потужністю 5 - 6 МВт, для якого передбачається впровадження фотоелектричної станції потужністю 5 МВт. Характерною особливістю таких підприємств є значне та нерівномірне електроспоживання протягом доби, обумовлене роботою електроприводів технологічного обладнання, дробарок, млинів та допоміжних виробничих систем. Аналіз графіка навантаження показав наявність виражених ранкових та вечірніх максимумів споживання електроенергії, які не збігаються з періодом максимальної генерації фотоелектричної станції.

У денні години фотоелектрична станція забезпечує покриття частини навантаження підприємства та може генерувати надлишкову електроенергію. Водночас у ранкові та вечірні години підприємство змушене споживати значні обсяги електроенергії з мережі, що призводить до збільшення витрат на електропостачання. Для підвищення рівня використання власної генерації та зменшення залежності від зовнішнього електропостачання було запропоновано використання системи накопичення електричної енергії [3].

Визначення параметрів системи накопичення виконувалося на основі аналізу графіка навантаження підприємства та режимів роботи фотоелектричної станції. За результатами розрахунків необхідна потужність системи накопичення становить 5 МВт, а загальна ємність — 12,5 МВт·год. Така конфігурація дозволяє забезпечити накопичення електроенергії у періоди низької вартості або надлишкової генерації та використовувати її для покриття навантаження підприємства у години максимального тарифу.

Для реалізації проекту було обрано контейнерну систему накопичення електричної енергії Nithium MU ESS ∞Power ємністю 6,25 МВт·год [4]. Система складається з двох контейнерів, що забезпечують сумарну ємність 12,5 МВт·год. Передача електроенергії між акумуляторними батареями та мережею здійснюється за допомогою силових перетворювачів NR PCS-9567TU-1575, які забезпечують двонаправлений обмін енергією та можливість роботи системи у режимах заряду та розряду [5].

Запропонована система накопичення електричної енергії працює за принципом перенесення споживання електроенергії з періодів високої вартості у періоди низької вартості, що відповідає концепції energy shifting [6]. Основний заряд акумуляторних батарей здійснюється у нічний період, коли навантаження енергосистеми є нижчим, а вартість електричної енергії мінімальною. Додатковий заряд системи накопичення відбувається у денний час за рахунок генерації фотоелектричної станції, що дозволяє максимально використовувати власну відновлювану генерацію.

Накопичена електроенергія використовується для покриття навантаження підприємства у ранкові та вечірні години, коли спостерігається підвищене електроспоживання та зростає вартість електричної енергії. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити обсяги споживання електроенергії з мережі у періоди максимальних тарифів та забезпечити більш рівномірний графік навантаження підприємства.

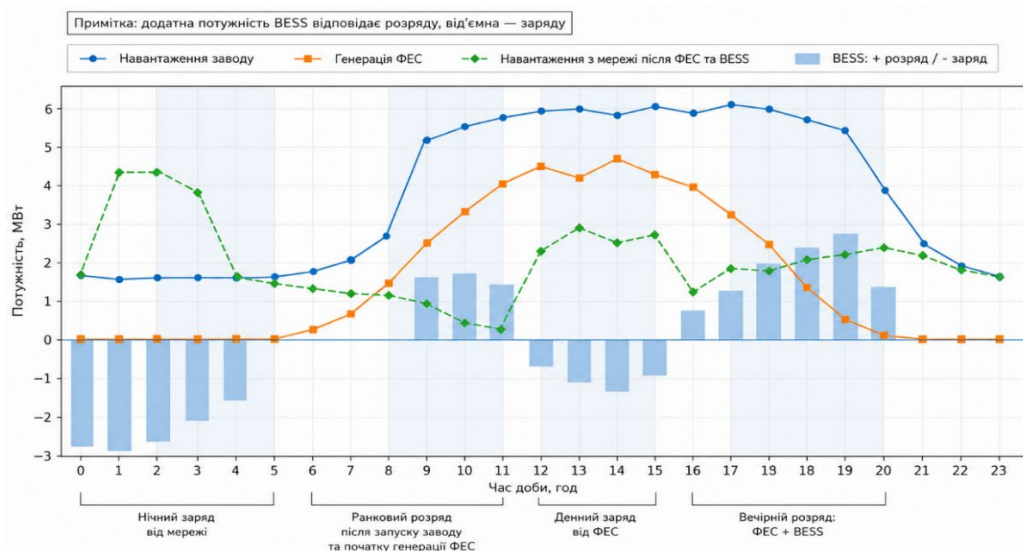


Рисунок 1 – Графік навантаження підприємства, при генерації ФЕС та роботи BESS

Крім перенесення споживання електроенергії у часі, система накопичення забезпечує реалізацію режиму peak shaving, який полягає у зменшенні пікових навантажень за рахунок використання накопиченої енергії [7]. Це дозволяє знизити максимальну потужність, яку підприємство відбирає з мережі, зменшити навантаження на електротехнічне обладнання та підвищити ефективність використання локальної енергетичної інфраструктури.

Результати моделювання добового режиму роботи показали, що поєднання фотоелектричної станції та системи накопичення електричної енергії забезпечує більш повне використання виробленої сонячної електроенергії, зменшує залежність підприємства від зовнішнього електропостачання та сприяє підвищенню енергоефективності системи електропостачання активного споживача.

Для оцінювання доцільності впровадження системи накопичення електричної енергії було проведено техніко-економічний аналіз запропонованого рішення. В основу розрахунків покладено принцип використання різниці вартості електричної енергії протягом доби відповідно до діючих цінних періодів ринку електричної енергії України [10].

Основний заряд системи накопичення здійснюється у нічний період, коли вартість електричної енергії є найнижчою та становить 5600 грн/МВт·год. У денний час додатковий заряд забезпечується за рахунок генерації фотоелектричної станції потужністю 5 МВт, що дозволяє збільшити рівень використання власної генерації підприємства. Накопичена електроенергія використовується для покриття навантаження у ранковий період, коли вартість електроенергії становить 6900 грн/МВт·год, а також у вечірні години максимального тарифу, коли ціна зростає до 15000 грн/МВт·год.[10]

Таким чином система накопичення забезпечує перенесення споживання електроенергії з періодів низької вартості у періоди високої вартості, що дозволяє суттєво скоротити витрати підприємства на електропостачання. Крім того, використання накопиченої енергії у години максимального навантаження зменшує споживання електроенергії з мережі та підвищує ефективність використання фотоелектричної станції.

За результатами проведених розрахунків добовий економічний ефект від використання системи накопичення електричної енергії становить близько 99,9 тис. грн. Річний економічний ефект складає 36,4 млн грн, а чистий економічний ефект з урахуванням експлуатаційних витрат становить 34,6 млн грн на рік. Орієнтовна вартість впровадження системи накопичення електричної енергії становить 90 млн грн.

Проведене техніко-економічне обґрунтування показало, що термін окупності запропонованого проекту становить близько 2,6 року. Отримані результати підтверджують економічну доцільність впровадження систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах, які використовують власні джерела відновлюваної генерації.

Висновки

У роботі досліджено можливість застосування систем накопичення електричної енергії для підвищення енергоефективності активного споживача на прикладі цементного заводу з фотоелектричною станцією потужністю 5 МВт. Встановлено, що використання систем накопичення електричної енергії дозволяє ефективно вирішувати проблему невідповідності між графіками генерації фотоелектричної станції та споживання електричної енергії підприємством.

За результатами проведених розрахунків обґрунтовано використання системи накопичення потужністю 5 МВт та ємністю 12,5 МВт·год на базі контейнерних рішень Hithium MU ESS ∞Power та силових перетворювачів NR PCS-9567TU-1575. Запропонована система забезпечує нічний заряд від мережі за нижчими тарифами, додатковий заряд від фотоелектричної станції у денний період та використання накопиченої енергії для покриття навантаження підприємства у години максимального тарифу.

Проведений техніко-економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження систем накопичення електричної енергії на промислових підприємствах. Отримані результати показали, що чистий річний економічний ефект становить 34,6 млн грн, а термін окупності проекту складає близько 2,6 року. Це підтверджує перспективність використання систем накопичення електричної енергії як одного з ефективних інструментів підвищення енергоефективності активних споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Нікіторович О. В. Активні споживачі в електроенергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії. Вінниця : ВНТУ, 2021. 168 с.
2. Кириленко О. В., Трач І. В. Відновлювані джерела енергії та особливості їх інтеграції в електричні мережі. Технічна електродинаміка. 2020. № 4. С. 52–58.
3. Малогулко Ю. В., Ластівка В. Б. Дослідження використання систем накопичення електричної енергії. Матеріали ЛІІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету. Вінниця : ВНТУ, 2024. С. 2177–2181.
4. Hithium Energy Storage Technology Co., Ltd. Hithium MU ESS ∞Power. Product Specification. Xiamen, China, 2024. 24 p.
5. NR Electric Co., Ltd. PCS-9567TU Energy Storage Converter Technical Manual. Nanjing, China, 2024. 58 p.
6. Das C. K., Bass O., Kothapalli G., Mahmoud T. S., Habibi D. Overview of Energy Storage Systems in Distribution Networks: Placement, Sizing and Applications within a Smart Grid. Journal of Energy Storage. 2018. Vol. 17. P. 290–304.
7. Stecca M., Ramirez Elizondo L., Batista Soeiro T., Bauer P., Palensky P. A Comprehensive Review of the Integration of Battery Energy Storage Systems into Distribution Networks. Electric Power Systems Research. 2020. Vol. 184. 106–120.
8. Лежнюк П. Д., Кравчук С. В., Малогулко Ю. В., Прокопенко І. О. Математичне моделювання роботи систем накопичення енергії на ринку допоміжних послуг об'єднаної електроенергетичної системи України. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика. 2021. № 2. С. 21–29.
9. Закон України «Про ринок електричної енергії» № 2019-VIII від 13.04.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
10. НКРЕКП. Постанова №220 від 26.02.2025 «Про встановлення граничних цін на ринку "на добу наперед", внутрішньодобовому ринку та балансуєчному ринку». URL: <https://www.nerc.gov.ua>

Плешко Олег Олександрович – студент групи ЕС-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olegpleshko9@gmail.com

Науковий керівник: **Комар Вячеслав Олександрович** – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: komar.v.o@vntu.edu.ua

Pleshko Oleh – student of group ES-22b, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olegpleshko9@gmail.com

Supervisor: **Viacheslav Komar** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: komar.v.o@vntu.edu.ua