

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТА ЛОКАЛЬНОГО ГЕНЕРУВАННЯ В СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто переваги та недоліки централізованих та локальних електроенергетичних систем з метою визначення оптимальних підходів до модернізації електричних мереж. Показано, що розвиток локальної генерації дозволяє зменшити втрати електроенергії та витрати на її передачу завдяки розміщенню генерувальних потужностей безпосередньо поблизу споживачів. Водночас традиційні системи централізованої генерації характеризуються значними витратами на інфраструктуру та передавання електроенергії, що ускладнює їх адаптацію до сучасних умов зростаючого попиту. Обґрунтовано, що використання відновлюваних джерел енергії в системах локального генерування сприяє підвищенню екологічності та ефективності енергопостачання, однак створює виклики щодо стабільності генерації та якості електроенергії. Доведено, що впровадження сучасних технологій керування та автоматизації дозволяє мінімізувати ці недоліки та забезпечити надійну роботу системи.

Ключові слова: електроенергетична система, централізоване генерування, локальне генерування, Smart Grid, відновлювані джерела енергії, енергоефективність.

Abstract

The paper examines the advantages and disadvantages of centralized and localized electric power systems in order to determine optimal approaches to the modernization of electrical grids. It is shown that the development of localized generation allows reducing electricity losses and transmission costs due to the placement of generating capacities in close proximity to end-users. At the same time, traditional centralized generation systems are characterized by significant infrastructure and transmission costs, which complicates their adaptation to modern conditions of increasing electricity demand. It is substantiated that the use of renewable energy sources in distributed and localized generation systems contributes to improving the environmental sustainability and efficiency of power supply; however, it creates challenges related to generation stability and power quality. It is proven that the implementation of modern control and automation technologies makes it possible to minimize these drawbacks and ensure reliable system operation.

Keywords: electric power system, centralized generation, localized generation, Smart Grid, renewable energy sources, energy efficiency.

Вступ

Сучасний розвиток електроенергетичних систем характеризується стрімким зростанням попиту на електроенергію, підвищенням вимог до надійності та якості електропостачання, а також необхідністю зменшення негативного впливу на довкілля. Традиційна модель функціонування електроенергетики, що базується на централізованій генерації, поступово втрачає свою ефективність в умовах децентралізації енергетики та активного впровадження відновлюваних джерел енергії.

Основна частина

В умовах зростання частки відновлюваних джерел енергії та підвищення вимог до надійності електропостачання традиційні централізовані електроенергетичні системи (ЦЕЕС) стикаються з низкою суттєвих проблем. Основними з них є значні втрати електроенергії при передачі на великі відстані, висока вартість експлуатації та обмежена гнучкість щодо інтеграції розподілених і відновлюваних джерел енергії.

Крім того, результати аналізу економічних показників (табл. 1) свідчать, що централізовані системи потребують значних витрат на передачу електроенергії, зокрема через необхідність використання високовольтних мереж та наявність втрат при транспортуванні. Також для ЦЕЕС характерні високі постійні витрати на обслуговування та значна залежність від паливних ресурсів. Водночас локальні електроенергетичні системи (ЛЕЕС) демонструють нижчі втрати, менші витрати на передачу та вищу енергоефективність за рахунок розміщення генеруючих потужностей безпосередньо поблизу споживачів.

Таблиця 1 – Результати аналізу економічних показників ЦГ, РГ та ЛГ

Стаття витрат	Централізована генерація (CG)	Локальна генерація (LG)
Капітальні витрати	Низька вартість на одиницю потужності	Висока вартість на одиницю;
Експлуатаційні та обслуговуючі витрати (постійні)	Вищі	Нижчі
Експлуатаційні та обслуговуючі витрати (змінні)	Нижчі	Нижчі
Паливо	Значна потреба у паливі	Не потребує
Передача електроенергії	Обов'язкова передача високою напругою; можливі відмови та значні втрати	Генерація поблизу споживача; економія на розподілі
Непотрібні витрати через недовідпущену енергію	Високі	Низькі

Разом із тим, впровадження ЛЕЕС також супроводжується рядом проблем. Зокрема, використання відновлюваних джерел енергії має стохастичний характер, що призводить до нестабільності генерації та може негативно впливати на якість електроенергії. Крім того, для таких систем характерні підвищені змінні витрати та необхідність використання складних систем керування і прогнозування. Незважаючи на високий рівень ефективності та екологічності, ЛЕЕС потребують додаткових технічних рішень для забезпечення надійності функціонування. Таким чином, виникає необхідність пошуку комплексного підходу до модернізації електроенергетичних систем, який дозволить поєднати переваги різних типів генерації та мінімізувати їх недоліки.

Одним із найбільш перспективних напрямів є впровадження концепції Smart Grid, що передбачає інтеграцію цифрових технологій, систем прогнозування, автоматизованого керування та двосторонньої комунікації між елементами енергосистеми.

Запропоноване рішення полягає у формуванні гібридної моделі електроенергетичної системи, яка базується на комбінованому використанні централізованого та локального генерування. У такій системі централізована генерація забезпечує базове покриття навантаження та системну стійкість, тоді як ЛЕЕС використовуються для покриття локальних потреб, зниження втрат електроенергії та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Впровадження інтелектуальних систем керування дозволяє координувати роботу різних джерел генерації, забезпечувати баланс потужності та підвищувати надійність електропостачання.

Висновок

Отримані результати свідчать, що традиційні централізовані електроенергетичні системи наразі мають проблеми із забезпеченням зростаючого попиту на електроенергію з урахуванням вимог

ефективності, надійності та сталого розвитку. Найбільш перспективним напрямом є розвиток локального генерування з одночасною інтеграцією інтелектуальних технологій Smart Grid.

Комбіноване використання ЦЕЕС та ЛЕЕС дозволяє підвищити ефективність функціонування енергосистеми, зменшити втрати електроенергії, оптимізувати витрати та забезпечити надійне й екологічно безпечне електропостачання споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. John Bhatti, H. and Danilovic, M. (2018) Making the World More Sustainable: Enabling Localized Energy Generation and Distribution on Decentralized Smart Grid Systems. World Journal of Engineering and Technology, 6, 350-382. doi: [10.4236/wjet.2018.62022](https://doi.org/10.4236/wjet.2018.62022).
2. Малогулко Ю. В., Тептя В. В., Остра Н. В., Сікорська О. В., Затхей К. О. Ключова роль розподільних електричних мереж у післявоєнній відбудові енергетичної системи України // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2025. – Т. 36 (75), № 6, ч. 1. – с. 124–132. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/18>
3. Лежнюк П.Д., Затхей К. О. Децентралізовані енергетичні ресурси як спосіб оперативного керування балансом електроенергії в електричній системі з відновлюваними джерелами енергії. Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ- 2025). Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, 22-23 жовтня 2025 року : збірник наукових праць –Вінниця : ВНТУ, 2025. – с. 82-85

Лежнюк Петро Дем'янович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, email : lezhpdp@gmail.com,
ORCID 0000-0002-9366-3553

Затхей Катерина Олександрівна – аспірантка, кафедра ЕСС, ВНТУ, Вінниця,
e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com ORCID 0000-0002-5501-662X

Lezhniuk Petro Demyanovych – Dr. tech. Sciences, Prof., Prof. of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsya, email : lezhpdp@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-9366-3553

Zatkhei Kateryna Oleksandrivna – graduate student, Department of Department of Power Plants and Systems, VNTU, Vinnytsia, e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com
ORCID 0000-0002-5501-662X