

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ВІДНОВЛЮВАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З МЕТОЮ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ БАЛАНСОМ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття досліджує сучасний стан електроенергетичної системи України (ЕЕС) у контексті викликів, спричинених війною, та необхідності інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Автор описує наслідки атак на централізоване енергопостачання, які виявили недостатню гнучкість і стійкість наявних генерувальних потужностей. Розглядаються перспективи розвитку гібридних електроенергетичних систем, що поєднують кілька джерел генерації та накопичення енергії. Такі системи сприяють підвищенню надійності та енергоефективності мережі. У статті зосереджено увагу на перевагах розподілених енергетичних ресурсів (DER), їхньому внеску в децентралізацію, підвищення енергетичної безпеки та відповідність цілям декарбонізації, закладеним у національних стратегічних документах. Також розглянуто технічні та економічні аспекти впровадження ВДЕ, включаючи необхідні інвестиції для досягнення цілей Енергетичної стратегії України до 2050 року та Національного енергетичного та кліматичного плану (NECP) до 2030 року.

Зроблено висновок, що використання гібридних електроенергетичних систем є ефективним рішенням для подолання викликів і забезпечення сталого розвитку електроенергетичної системи України.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії (ВДЕ), гібридні електроенергетичні системи, розподілені енергетичні ресурси (PER), децентралізація електроенергетики.

Abstract

The paper examines the current state of Ukraine's electric power system (EPS) in the context of the challenges caused by the war and the need to integrate renewable energy sources (RES). The consequences of attacks on centralized energy supply, which revealed insufficient flexibility and sustainability of existing generating capacities, are described. The prospects for the development of hybrid energy systems that combine several sources of energy generation and storage are considered. Such systems help to improve the reliability and energy efficiency of the grid. The paper focuses on the advantages of distributed energy resources (DER), their contribution to decentralization, energy security, and compliance with the decarbonization goals set out in national strategies. The technical and economic aspects of RES deployment, including the investments required to achieve the goals of the Energy Strategy of Ukraine until 2050 and the National Energy and Climate Plan (NECP) until 2030, are also presented. It is concluded that the use of hybrid energy systems is an effective solution to overcome challenges and ensure the sustainable development of Ukraine's energy system.

Key words: Renewable Energy Sources (RES), Hybrid Energy Systems, Distributed Energy Resources (DER), Energy Decentralization.

Вступ

Традиційно в електроенергосистемі забезпечується баланс потужності та електроенергії, враховуючи всі типи генеруючих потужностей, які були безпосередньо підключені до мережі. Однак за останні десятиліття інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема фотоелектричних і вітрових електростанцій, суттєво вплинула на параметри стійкості

енергосистеми. Основними особливостями ВДЕ є змінність і переривчастість. Переривчастість включає в себе як прогнозовані, так і непередбачувані коливання, проте сучасний стан електроенергосистеми України все ж таки вимагає збільшення частки ВДЕ. Постійні атаки росії на українську електроенергосистему довели, що централізоване електроенергопостачання не забезпечує необхідного рівня надійності та стійкості. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є реконструкція електроенергетичного сектору. Рішення про таку модернізацію мають враховувати як актуальні потреби генерації, так і довгострокові цілі розвитку[3].

У короткостроковій перспективі країна має нагальну потребу у збільшенні виробничих потужностей, підвищенні енергоефективності та зміцненні стійкості електроенергосистеми для протистояння атакам і швидкого відновлення. У довгостроковому плані Україна прагне створити сучасну, декарбонізовану енергосистему, інтегровану з європейськими енергоринками, що відображено в стратегічних документах, таких як Енергетична стратегія до 2050 року та Національний план з енергетики та клімату до 2030 року.

До початку повномасштабного вторгнення Україна ефективно реагувала на коливання попиту та інтеграцію змінної відновлюваної енергетики, використовуючи вугільні електростанції та гідроелектростанції. Однак постійні атаки росії значно знизили гнучкість генеруючих потужностей. Хоча активи ВДЕ також зазнали пошкоджень, негативний вплив виявився меншим, оскільки частка ВДЕ у структурі генерації залишалася практично незмінною. Таким чином, розвиток і ширше використання ВДЕ наразі є одним із найбільш перспективних рішень для України. Варто розглянути концепцію гібридних електроенергетичних систем як ефективний шлях до забезпечення стійкості електроенергетичної системи [4].

Основна частина

Гібридні відновлювані електроенергетичні системи є ефективним інструментом для покращення якості електроенергії та підвищення надійності роботи енергосистеми. Однак використання таких систем супроводжується низкою викликів. До них належать нестабільність відновлюваних джерел енергії, таких як швидкість вітру чи інтенсивність сонячного випромінювання, обмежений термін служби пристроїв для зберігання енергії, а також достатньо високі капіталовкладення. Ці фактори спричиняють коливання потужності джерел, що робить необхідним впровадження інтеграції різних відновлюваних джерел енергії із застосуванням належних стратегій управління енергетичними потоками.

На рис. 1 представлено блок-схему гібридної енергетичної системи. Вона включає такі ключові компоненти: сонячні панелі, вітрові турбіни, паливні елементи, електролізери та акумуляторні батареї. Кожен із цих елементів відіграє важливу роль у забезпеченні стабільного функціонування системи, підвищенні її енергоефективності та адаптивності до змін умов навколишнього середовища.

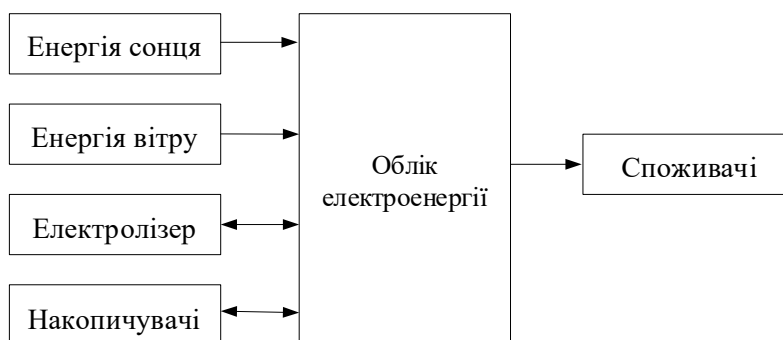


Рис. 1 - Блок-схема гібридної електроенергетичної системи

Сьогодні активно проводяться дослідження щодо гібридних електроенергетичних систем та їх практичного застосування. Гібридна електроенергетична система поєднує кілька методів генерації або

зберігання енергії, а також може використовувати два чи більше різних видів палива для живлення генераторів. Перехід від економіки, що базується на викопному паливі, до гібридних енергетичних систем є перспективним інструментом для забезпечення стійкості енергетичного сектора.

У короткостроковій перспективі збільшення використання відновлюваних джерел енергії шляхом інтеграції з традиційною тепловою генерацією може забезпечити стабільність і надійність енергосистеми, особливо поки тривають розробки нових технологій для ефективнішої інтеграції ВДЕ. Гібридні електроенергетичні системи дозволяють використовувати наявну енергетичну інфраструктуру, доповнюючи її компонентами, що сприяють зниженню витрат, мінімізації впливу на довкілля та зменшенню порушень у роботі енергосистеми.

Основні переваги гібридних відновлюваних енергетичних систем представлені на рис. 2, де проілюстровано їхню здатність поєднувати переваги різних джерел енергії та забезпечувати більш стійке та економічно ефективне функціонування системи.

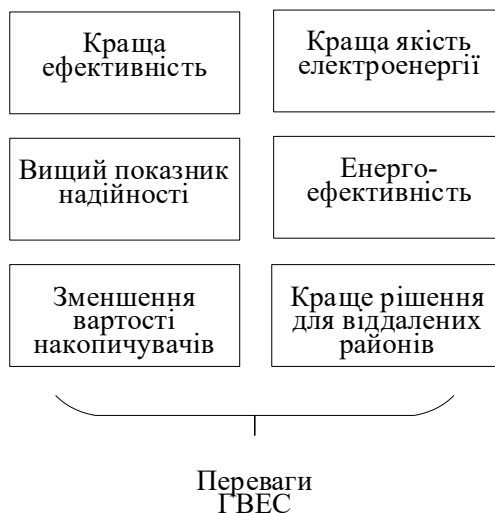


Рис. 2 - Основні переваги гібридних відновлюваних електроенергетичних систем

Розподілені енергетичні ресурси (PER) виступають як ключове рішення для задоволення нагальних потреб України, одночасно підтримуючи її довгострокове стратегічне бачення. До таких ресурсів належить широкий спектр технологій, зокрема сонячні фотоелектричні станції, вітрові електростанції, акумуляторні системи та малі модульні газові турбіни, які забезпечують численні стратегічні переваги. Географічний розподіл цих ресурсів у мережі підвищує її стійкість до цілеспрямованих атак і сприяє виробленню електроенергії ближче до місць її споживання. Модульна структура PER дозволяє швидко розгортати їх для усунення дефіциту генерації в критичних точках.

Провівши ретельний аналіз і всебічний огляд сучасного стану PER, методів їхньої інтеграції, існуючих рішень та переваг, визначено області, які потребують вдосконалення. Основна увага була зосереджена на розробці передових технологій зберігання енергії та створенні нової гібридної електроенергетичної мережі. Ці технології покликані забезпечити стабільну роботу системи та надійне електроенергопостачання кінцевим споживачам.

Для створення цієї децентралізованої мережі майбутнього, яка буде стійкою, чистою та інтелектуальною, необхідно повністю інтегрувати навантаження в мережу та забезпечити їхнє належне відокремлення від основної мережі. Такий підхід дозволить побудувати більш адаптивну, ефективну та стійку до зовнішніх викликів електроенергетичну інфраструктуру, яка відповідатиме сучасним потребам та майбутнім викликам [2].

Висновки

Гібридна електроенергетична мережа відкриває можливості для інтеграції навантажень, які вирізняються чистотою, економічною ефективністю та енергоефективністю. Хоча впровадження таких систем вимагає значних ресурсів, ці інвестиції є виправданими й наразі

представляють перспективний напрямок вирішення низки проблем, особливо для віддалених регіонів України. Диверсифіковане розгортання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), включаючи змінні джерела, такі як сонячні панелі, вітрові турбіни та акумуляторні системи, потребуватиме початкових інвестицій у межах від 15,5 до 23 мільярдів доларів США. Проте в довгостроковій перспективі це є найекономічніше рішення, враховуючи поточні витрати на паливо.

За умови продовження експлуатації існуючого ядерного парку України до 2030 року, реалізація цілей Національного плану з енергетики та клімату (НПЕК) потребуватиме додаткових потужностей у розмірі приблизно 24 ГВт сонячної, 11 ГВт вітрової та 6 ГВт гідроенергетики [1]. Це розгортання узгоджується із задекларованими цілями України щодо інтеграції до Європейського Союзу та її прагненням досягти декарбонізації. Таким чином, розвиток гібридних електроенергетичних систем є не лише стратегічно важливим, а й економічно доцільним кроком для майбутнього сталого енергетичного сектору України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. IEA (2024), Empowering Ukraine Through a Decentralised Electricity System, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/empowering-ukraine-through-a-decentralised-electricity-system>, Licence: CC BY 4.0
2. Застосування гібридних відновлюваних енергетичних систем з метою оперативного керування балансом потужності та електроенергії в електроенергетичній системі / Лежнюк П. Д., Повстянко К. О. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: науковий журнал. – 2024. – № 6
3. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. А., Нікіторович О. В., Кулик В. В. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 204 с. 8.
4. Лежнюк П., Козачук О., Галузінський О. Використання активних споживачів для балансування електроенергії в електричній мережі. Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2023 (321) С. 214–221. DOI 10.31891/2307-5732-2023-321-3-214-221 Режим доступу: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2023/07/vknu-ts-2023-n3321-214-221.pdf>

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

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

Lezhniuk Petro Demyanovich – 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

Povstianko 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