

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Досліджено функціонування віртуальних електричних станцій, визначено основні їх переваги та недоліки роботи, проаналізовано їх функціональні можливості, а також форми виконання.

Ключові слова: віртуальні електростанції, відновлювальні джерела енергії, «зелена» енергетика.

Abstract. The functioning of virtual power stations has been studied, their main advantages and disadvantages of operation have been determined, their functional capabilities, as well as forms of implementation, have been analyzed.

Keywords: virtual power plants, renewable energy sources, "green" energy.

Вступ

Віртуальні електростанції (Virtual Power Plant) є новим типом електричних станцій, що базуються на розподілених технологіях та стратегіях керування Smart Grid системами. Використання ВЕС дозволяють використовувати переваги розподіленої генерації та частково вирішити проблему надійності в електричних мережах країни [1].

Віртуальна електростанція представляє собою хмарну ІТ-систему, в яку підключені розподілені джерела енергії, розташовані неподалік, а також споживачі цієї енергії. Система розподіляє доступну енергію між споживачами, накопичує її, здійснює обмін та торгівлю як всередині системи, так і на зовнішніх ринках (рис. 1).

Кожна віртуальна електростанція складається з таких компонентів, як:

- декількох (або багатьох) джерел електроенергії;
- споживачів, підключених до системи;
- системи зберігання енергії;
- програмного забезпечення, що контролює всю мережу [2].

Оцінки ринку ВЕС значно розходяться через те, що "фізично" такі станції не існують. Наприклад, компанія Inkwood Research в 2017 році оцінила глобальний ринок VPP всього в \$214,5 млн, тоді як Allied Market Research вказує на значно більші цифри, а саме в три рази більше, а P & S Market Research передбачає ринок ВЕС на рівні \$5510 млн до 2023 року. Однак всі ці компанії згодні, що до 2026 року цей ринок буде зростати щорічно на 25-26%.



Рисунок 1 - Схема роботи віртуальної електростанції

Основна ідея ефективного функціонування ВЕС полягає в тому, що різні джерела відновлюваної енергії можуть взаємодіяти між собою та з мережею електропостачання, щоб

забезпечити стабільну та ефективну роботу всієї системи. Наприклад, якщо сонячні панелі не виробляють достатньо електроенергії вночі, то ВЕС може спрямувати електроенергію з інших джерел відновлюваної енергії, наприклад з гідроелектростанції, щоб забезпечити потрібну кількість електроенергії.

Керування ВЕС здійснюється за допомогою спеціальних програмних засобів, які дають змогу моніторити й оптимізувати роботу всіх систем. Ці програмні засоби можуть аналізувати дані про виробництво електроенергії, споживання та рівень запасів електроенергії на мережі. На основі цих даних програмне забезпечення може визначити, яке джерело відновлюваної енергії потрібно підключити, щоб забезпечити потреби мережі в електроенергії [3].

Віртуальні електричні станції широко поширені в країнах з розвинутою відновлювальною енергетикою, таких як США, Німеччина, Австралія, Данія та Японія. Це пов'язано з тим, що зі зростанням кількості сонячних і вітряних електростанцій, потреба у регулюванні та балансуванні електричної мережі зростає. Німеччина, безумовно, є лідером впровадження ВЕС.

На сьогоднішній день популярною моделлю є ВЕС-агрегатор, який передбачає створення незалежного оператора ВЕС, який підключає споживачів. Споживачі беруть участь в програмах управління споживанням, умови яких залежать від вимог оператора та ринкової ситуації, і отримують бонуси, а також задоволення від участі у передовій "зеленій" програмі.

Класичним прикладом є ініціатива німецької енергетичної компанії RWE, яка об'єднала відновлювальну генерацію на території Рейнсько-Рурського регіону в одну ВЕС. Завдяки розробленій Siemens системі зв'язку та управління, RWE отримує вільні потужності, які може продавати на Європейській енергетичній біржі. Особливість проекту полягає в тому, що до біржової торгівлі електроенергією залучена генерація на базі відновлювальних джерел енергії, розташованих у побутових споживачів.

Варто зазначити, що не існує єдиної правильної моделі ВЕС. Вони є гнучкими системами, які будуються виробниками та споживачами енергії під свої потреби.

Аналітики ринку McKinsey попереджають, що децентралізована генерація електроенергії домогосподарств та офісів, об'єднаних у ВЕС та підтримана недорогими пристроями зберігання енергії, може поставити традиційних виробників енергії в деяких регіонах на межу зникнення.

Однак німецькі генеруючі компанії вже розуміють цей факт. Концерн EnBW, один з найбільших виробників електроенергії та власників електричних мереж у країні, пропонує своїм клієнтам комбінацію сонячних батарей та домашніх пристроїв для зберігання енергії, які можна підключити до ВЕС. Це дозволяє спільноті "підключених" користуватися енергією, яку вони самі генерують, та за потреби отримувати її з ВЕС.

Наприкінці 2018 року EnBW оголосив про придбання виробника батарей Senec, щоб стати "повноцінним дистриб'ютором децентралізованого енергетичного переходу" і розширити свій досвід та вартість в області інтелектуальних систем управління енергією. Проте, для подальшого розвитку та успішної імплементації ВЕС необхідне вирішення питань правового регулювання та законодавчого супроводження. У деяких випадках споживачі знаходять вихід у прогалинах законів, але необхідні чіткі та сприятливі правові умови для ефективного функціонування ВЕС.

Результати дослідження

Віртуальні електростанції можуть бути різних форм і розмірів. У міру розвитку енергетичного сектору вони стають ще більш витонченими. Розуміння того, що вони собою являють і як вони працюють, може допомогти нам уявити, як буде виглядати енергетичний перехід.

По суті, ВЕС — це мережа децентралізованих джерел енергії, згрупованих разом, щоб забезпечити надійне електропостачання споживачів енергії. Ці джерела енергії можуть бути трьох основних форм:

- Середні генеруючі установки (це джерела енергії середнього розміру, такі як вітрові електростанції та сонячні парки).
- Гнучкі споживачі електроенергії (це споживачі енергії, які мають енергетичні активи з властивою гнучкістю, які можуть бути використані шляхом реагування на попит).
- Гнучкі системи накопичення енергії (це локальні системи накопичення енергії, наприклад акумуляторні накопичувачі).

Віртуальні електростанції не обов'язково складаються з одного конкретного джерела енергії, а можуть бути комбінацією всіх трьох. Але спільним у них є те, що всі вони згруповані разом як

альтернативне джерело енергії для операторів мереж.

Основні переваги та недоліки функціонування ВЕС наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки функціонування віртуальних електричних станцій

Переваги	Недоліки
Зменшення залежності від імпортованої енергії. Віртуальні електростанції можуть допомогти зменшити залежність від імпортованої енергії, забезпечуючи додаткові джерела відновлювальної енергії в країні.	Залежність від державної підтримки. Розвиток ВЕС в Україні залежить від державної підтримки, такої як фінансові стимули і законодавчі ініціативи. Це може створювати ризик нестабільності, якщо державна підтримка буде змінена.
Екологічність. ВЕС випускають значно менше викидів в атмосферу, порівняно з традиційними джерелами енергії, що сприяє поліпшенню екологічної ситуації в країні.	Ризик негативного впливу на довкілля. Хоча ВЕС і є екологічно чистим джерелом енергії, їх вплив на довкілля може бути складним. Наприклад, побудова вітрових турбін може мати негативний вплив на місцевих птахів і диких тварин.
Гнучкість. ВЕС можуть бути розташовані в будь-якому місці, де є доступ до відновлювальних джерел енергії, що дозволяє зменшити залежність від традиційних видів енергії.	Потреба у великій кількості земельної площі. Установка ВЕС може потребувати значної кількості земельної площі, що може стати проблемою в умовах обмеженості земельних ресурсів.
Економічність. ВЕС дозволяє використовувати відновлювальні джерела енергії, що може значно знизити витрати на оплату електроенергії.	Потреба у підтримці. ВЕС потребують підтримки технічного персоналу для підтримки та обслуговування, що може збільшити витрати на економічність виробництва електроенергії. Крім того, необхідність у підтримці може збільшити витрати на обслуговування ВЕС.
Можливість заробітку. Власники ВЕС можуть продавати надлишкову електроенергію до мережі та отримувати додатковий прибуток.	Потреба відповідної інфраструктури. ВЕС потребують відповідної інфраструктури, такої як мережі передачі електроенергії, що може бути досить коштовною і вимагати значних витрат на будівництво.
Покращення енергетичної безпеки. ВЕС допомагають знизити ризик для енергетичної безпеки, оскільки забезпечують додаткові джерела електроенергії, що можуть бути використані в разі проблем з традиційними джерелами енергії.	

Основні функції віртуальних електричних станцій [4]:

- керування джерелами виробництва електроенергії. ВЕС може керувати джерелами виробництва електроенергії в режимі реального часу. Наприклад, якщо відбувається падіння напруги на одному з джерел, то ВЕС може автоматично переключити на інше джерело, щоб забезпечити неперервне електропостачання;
- керування потужністю та стабілізація електричної системи. ВЕС може забезпечувати виробництво та розподіл електроенергії відповідно до попиту. Якщо попит на електроенергію зростає, то ВЕС може виробляти більше електроенергії, зокрема використовуючи збережену енергію з батарей, що забезпечує стабільну роботу електричної системи;
- прогнозування виробництва електроенергії. ВЕС може передбачити, скільки електроенергії буде вироблено в майбутньому з кожного джерела генерації, таким чином керуючи виробництвом електроенергії для найбільш ефективного використання ресурсів;
- зберігання енергії. ВЕС може зберігати енергію, вироблену з джерел, які не можуть бути використані одразу. Наприклад, якщо сонячні панелі виробляють електроенергію вдень, а споживають її вночі, то ВЕС може зберігати надлишок енергії і використовувати його в майбутньому.

- оптимізація використання джерел енергії. За рахунок оптимізації використання електроенергії, виробленої відновлювальними джерелами, відбувається забезпечення максимально можливого виробничий результат, зниження витрат енергії, збільшення ефективності та зниження викидів в атмосферу. Наприклад, ВЕС може регулювати виробництво електроенергії залежно від погодних умов: якщо на небі сонце, то сонячні панелі будуть виробляти більше електроенергії, а якщо погода хмарна або дощова, то система може переключитися на використання інших джерел енергії, таких як вітряки, щоб забезпечити потреби споживачів в електроенергії.

- забезпечення стабільності мережі. ВЕС може забезпечити стійкість мережі, використовуючи кілька джерел генерації електроенергії, щоб забезпечити безперервне постачання електроенергії за будь-яких умов. Також ВЕС може регулювати потужність та напругу на мережі, забезпечуючи стабільну роботу електросистеми.

Перш за все, мета віртуальної електростанції полягає в тому, щоб об'єднати різні джерела енергії в одну єдину систему. Це може бути що завгодно: від сонячних і вітрових електростанцій до енергетичних активів і акумуляторних батарей [5-7]. Але ця мережа розподілених блоків живлення об'єднана однією централізованою платформою.

Ця платформа використовується для моніторингу, координації та контролю енергетичних активів ВЕС в одній центральній системі управління. Це гарантує, що користувачі та споживачі електроенергії можуть отримувати оптимальну енергію в будь-якій даній точці для виконання ряду операцій за допомогою ВЕС.

Звідси електроенергією з цієї мережі активів можна торгувати на енергетичних ринках. Продаж їх на цих ринках означає, що їх можна використовувати для стабілізації електромережі під час коливань, створюючи більш надійну мережеву систему. Це особливо важливо з розвитком відновлюваних джерел енергії. Оскільки відновлювані джерела енергії стають все більш популярними, коливання у виробництві відновлюваної електроенергії можна збалансувати за допомогою ВЕС. У багатьох відношеннях ВЕС є передумовою для впровадження відновлюваних джерел енергії в наші існуючі енергетичні системи [8].

В цілому, віртуальні електростанції мають багато переваг, але вони не можуть забезпечити гарантоване постачання електроенергії в будь-який момент часу. Тому, їх використання має бути поєднано з традиційними джерелами енергії, щоб забезпечити стабільне постачання електроенергії.

В Україні на даний момент існує невелика кількість ВЕС, які розташовані по всій країні, але їх розподіл неоднаковий. Найбільше такого виду станцій у Запорізькій, Миколаївській, Дніпропетровській, Херсонській та Одеській областях. Однак, також є ВЕС у Київській, Львівській, Хмельницькій, Чернігівській та інших областях України. Найбільш поширеними типами ВЕС в Україні є вітрові та сонячні.

Але після початку війни значна кількість підприємств відновлювальної енергетики було зруйновано або пошкоджено. Більш ніж 60% сонячних електростанцій розміщено на півдні та сході України і там ведуться найактивніші бойові дії. Від цього на кінець квітня 2022 року було зруйновано близько 40% електростанцій, потужність яких складала 1500 МВт. Більше всього втратили Миколаївський та Харківський вузли (навколо Харкова знищено 100% сонячних станцій). А щодо вітропарків, то було зупинено понад 65% вітряків.

Висновок

Всередині інтелектуальної мережі з'являється нова модель виробництва енергії, яка називається віртуальною електростанцією. ВЕС складається з безлічі різних елементів, призначених для вирішення локальних проблем, але вони повинні взаємодіяти разом, щоб поводитися як єдине ціле. Одним із найбільш критичних питань для гнучкої роботи ВЕС є прогнозування попиту, яке дозволяє ВЕС заздалегідь знати необхідну кількість електроенергії, щоб планування виробництва було можливим. Коли ми говоримо про прогнозування навантаження ВЕС, то метою є саме прогнозування енергетичного навантаження в малому (мікромережевому) масштабі. Перспективи розвитку віртуальних електростанцій досить високі. Це доволі гнучка, дешева, та екологічна система, яка дозволить зменшити залежність від імпорту енергоресурсів, що є дуже важливим для будь-якої країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Режим доступу: <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/virtual-power-plants.htm>.
2. Режим доступу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/yak-postrazhdala-zelena-energetyka-v-ukrayini->

[cherez-vijnu-z-rosiyeyu/](#).

3. Режим доступу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/virtualna-elektrostantsiya-shho-soboyu-predstavlya%D1%94-i-dlya-chogo-potribna/>.
4. Режим доступу: <https://sympower.net/what-is-a-virtual-power-plant-vpp-explained/>.
5. Малогулко Ю.В. Дослідження сучасних технологій систем накопичення енергії / Малогулко Ю.В., Ластівка В.Б. // Znanstvena misel journal. №65/2022, pp. 65-68. ISSN 3124-1123.
6. Malogulko Yu., Kovalchuk N., & Lastivka V. (2022). Analysis of the of smoothing methods power fluctuations of the photoelectric plant using BESS. Norwegian journal of development of the international science, 97, 56–59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7377447>.
7. Malogulko Yu., Kovalchuk N., & Lastivka V. (2023). The development renewable energy sources problems during the war. Norwegian Journal of Development of the International Science, 100, 34–37. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7528531>.
8. Режим доступу: <https://sympower.net/what-is-a-virtual-power-plant-vpp-explained/>.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net.

Пасло Нікіта Олександрович - студент групи 2еє-20б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: nikitapaslo5@gmail.com.

Ластівка Вікторія Богданівна — студентка групи 1ЕСМ-21б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net.

Nikita O. Paslo - student of group 2ee-20b, faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: nikitapaslo5@gmail.com

Lastivka B. Viktoriya - student of 1ESM-21b group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.