

УДК 621.31

Володимир Дерій*, канд. техн. наук, ст. наук. співр., <https://orcid.org/0000-0002-5689-4897>
Тетяна Нечаєва, канд. техн. наук., ст. досл., <https://orcid.org/0000-0001-9154-4545>
Олександр Згуровець, канд. техн. наук, ст. досл., <https://orcid.org/0000-0001-8439-9781>
 Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна
 *Автор-кореспондент: derii.volodymyr@gmail.com

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ POWER-TO-HEAT В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ УКРАЇНИ

Ключові слова: енергосистема, обмеження потужності, Power-to-Heat, електричні котли, теплові насоси.

Мета роботи. Оцінка доцільності застосування технології Power-to-Heat для підвищення стійкості та відновлюваності енергетичних систем.

Результати роботи. Непередбачуваність генерації сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій викликала численні проблеми для енергосистем по всьому світу. Зокрема, до них можна віднести появу надлишкової електроенергії та пов'язаних з цим примусових обмежень генерації. Одним із можливих рішень для використання цієї надлишкової електроенергії та забезпечення стійкості енергосистем є застосування технології Power-to-Heat (PtH) [1, 2]. Ця технологія використовує електричні теплогенератори (ЕТГ) для перетворення електричної енергії на теплову, яка потім передається до системи централізованого теплопостачання, де вона споживається та/або акумулюється.

Доцільність впровадження технології PtH оцінювалася методом порівняльного техніко-економічного аналізу. Як критерій було прийнято середньозважений тариф на генерацію теплової енергії за 2021 рік, розрахований на основі даних з [3], який порівнювався з показником граничної приведеної ціни енергії (Marginal Levelized Price of Energy – MLPOE) [4]. На відміну від LCOE, MLPOE враховує не лише витрати, але й усі потенційні доходи від впровадження певної технології. Фактично, MLPOE є мінімальною середньозваженою беззбитковою ціною теплової енергії, яку виробляє технологія PtH. Як обмежуючий фактор було вибрано простий період окупності інвестицій (Pb) у 5 років.

Для проведення розрахунків було прийнято наступні припущення: 1) обмеження потужності ВЕС та СЕС у 2021 році становили 15 % (1394,3 тис. МВт·год) від загального виробництва електроенергії, яке склало 9295,3 тис. МВт·год; середнє теплове навантаження систем постачання гарячої води в неопалювальний період 2021 року становило 2100 МВт, а виробництво теплової енергії досягло 7378,6 тис. МВт·год.

Вихідні дані для розрахунку були наступними: середньозважений тариф на генерацію теплової енергії – 2205 грн/Гкал; життєвий цикл проекту – 20 років; частка власних коштів – 15 %, запозичених – 85 %; непередбачені витрати – 10 %; ставка дисконтування, розрахована як середньозважена вартість власного та запозиченого капіталу – 6,6 %; період повернення запозичених коштів – 5 років. Діапазон цін на електроенергію обрано з урахуванням їх середньозваженого значення на різних сегментах ринку, тарифів на передачу, розподіл, диспетчерське управління та вартості постачання станом на 2023 рік. Як ЕТГ використовувався:

1. Електричний котел потужністю 20 МВт: ККД – 0,98; питомі проектні витрати – 104,9 євро/кВт; загальні інвестиційні витрати – 2307,8 тис. євро; питомі експлуатаційні витрати – 0,495 євро/кВт на рік; коефіцієнт використання встановленої потужності (ICUF) змінний (10–40 %); вартість надлишкової електроенергії змінюється в діапазоні 35–70 євро/МВт·год; вартість електроенергії під час нічного провалу графіка електричних навантажень (ГЕН) змінна – 55–80 євро/МВт·год.

2. Тепловий насос (ТН) потужністю 1 МВт: джерела низькопотенційної теплоти – вентиляційні викиди (повітря), димові гази котелень та ТЕЦ, стічні води; коефіцієнт перетворення (COP) ТН – 3,5 (для вентиляційних викидів), 4,0 (для димових газів та стічних вод); річний коефіцієнт використання встановленої потужності – 60 % (звичайний режим роботи більшості ТН); загальні інвестиційні витрати для ТН, які використовують низькопотенційну енергію димових газів котелень та ТЕЦ, складають 487,3 тис. євро, вентиляційних викидів та повітря – 825 тис. євро, стічних вод – 1125,3 тис. євро; питомі експлуатаційні витрати – 2 % від загальних проєктних витрат; витрати на капітальний ремонт – 30 % від загальної вартості проєкту.

Результати розрахунків щодо використання електричного котла потужністю 20 МВт показали, що при збільшенні ICUF можна купувати електроенергію за вищою ціною. Навіть при ICUF = 5 %, технологія PtH залишиться беззбитковою, якщо вартість надлишкової електроенергії не перевищуватиме 50 євро/МВт·год, а при ICUF = 40 % – 69 євро/МВт·год. Використовуючи технологію PtH під час «нічного провалу» ГЕН, електричний котел працюватиме 2920 годин на рік (ICUF = 33,3 %). У цьому випадку беззбитковість теплової енергії забезпечується при вищих цінах на електроенергію (близько 82 євро/МВт·год), а прийнятний період окупності досягається при вартості електроенергії 75 євро/МВт·год.

Розрахунки показали, що при використанні ТН показник MLPOE для всіх розглянутих джерел низькопотенційної теплоти і в усьому прийнятому діапазоні цін на електроенергію є значно нижчим за середньозважений тариф на теплову енергію (2205 грн/Гкал). Проте прийнятний період окупності досягається лише при використанні ТН з джерелами низькопотенційної теплоти, такими як димові гази та вентиляційні викиди і повітря.

Висновки. Дослідження підтвердили, що впровадження технології Power-to-Heat є виправданим і може значно підвищити стійкість та відновлюваність енергосистеми України. Правильний вибір ємностей електричних і теплових акумуляторів та потужностей електричних теплогенераторів дозволить повністю вирішити проблему надлишкової електроенергії від сонячних та вітрових електростанцій без необхідності введення примусових обмежень на їх потужність, що, у свою чергу, допоможе уникнути збитків.

1. Застосування електричних котлів як електричних теплогенераторів у технології Power-to-Heat забезпечує значно менші інвестиційні витрати та вищу маневрову потужність порівняно з тепловими насосами. Використання теплових насосів у Power-to-Heat є доцільним у вже існуючих системах охолодження, таких як склади для зберігання охолоджених продуктів, або у випадках, коли потрібно отримати велику кількість теплової енергії при низькому споживанні електроенергії.

Посилання

1. What exactly is meant by "power-to-heat"? *Energiewende direct*. 2016, April 22. URL: <https://www.bmwk-energiewende.de/EWD/Redaktion/EN/Newsletter/2016/07/Meldung/direkt-answers.html> (дата звернення: 06.02.2024).
2. Renewable power-to-heat. Innovation landscape brief. IRENA, 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-heat_2019.pdf?la=en&hash=524C1BFD59EC03FD44508F8D7CFB84CEC317A299 (дата звернення: 07.06.2024).
3. Середньозважені тарифи. *Сайт Держенергоефективності*. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/serednozvazheni-taryfy> (дата звернення: 11.08.2023).
4. Дерій В.О. Оцінка економічної ефективності теплогенеруючих технологій для систем централізованого теплопостачання. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 2(65). С. 21—27. <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.021>

EXPEDIENCY OF USING POWER-TO-HEAT TECHNOLOGY IN THE ENERGY SYSTEMS OF UKRAINE

Volodymyr Derii*, PhD (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5689-4897>

Tetiana Nechaieva, PhD (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9154-4545>

Oleksandr Zgurovets, PhD (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-8439-9781>

General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine

*Corresponding author: derii.volodymyr@gmail.com

Abstract. *The stochastic nature of the generation of solar (SPP) and wind (WEP) power plants has caused several problems for energy systems around the world. One of these problems is the emergence of a significant surplus of electricity. A possible way to use this surplus and ensure the stability of energy systems is the use of Power-to-Heat (PtH) technology. This technology, with the help of electric heat generators (ETH), transforms electrical energy into thermal energy, which is then transferred to the district heating system (DHS), where it is consumed and/or stored.*

Keywords: power system, district heating system, Power-to-Heat, energy storage, electric boilers, heat pumps.