

## АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ТА СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В УКРАЇНІ

**І.В. Фролов**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
пр. Берестейський, 37, Київ, 03056, Україна  
e-mail: [uweivan97@gmail.com](mailto:uweivan97@gmail.com)

*У статті проведено аналіз стану Об'єднаної енергосистеми України на початок 2023 року. Основну увагу в роботі звернено на питання енергетичної безпеки та наслідки для ОЕС України після масових атак на енергетичні об'єкти з початку повномасштабного вторгнення і до 2023 року. Проведено оцінку основних недоліків поточної моделі функціонування енергосистеми та розглянуто актуальні короткострокові стратегії щодо її модернізації з метою підготовки до опалювального сезону 2023-2024 року. Основну увагу під час аналізу потенційно можливих короткострокових стратегій було звернено на план відновлення України, доступні потужності газотранспортної системи України, потенціал використання «плавучих електростанцій», потенційні можливості функціонування розподільчих мереж в «острівному режимі» та стимулюванню збільшення частки джерел розосередженої генерації та систем накопичення енергії. Наведено поточні результати реалізації вищезазначених стратегій та потенціал їхнього розвитку після закінчення повномасштабної війни відповідно до енергетичної стратегії України до 2035 року та основних тез енергетичної стратегії України до 2050 року. Сформовано основні рекомендації щодо реалізації підготовки Об'єднаної енергосистеми України до наступного опалювального сезону. Бібл. 10, рис. 2.*

**Ключові слова:** розосереджена генерація, дефіцит генеруючих потужностей, відновлювані джерела енергії, системи накопичення енергії, енергетична безпека, електропостачання.

**Вступ.** Через постійні масові атаки з боку Російської Федерації по енергетичній інфраструктурі України період з початку повномасштабного вторгнення і до кінця зими 2023 року став одним із найтяжчих для енергетиків та особливо представників електроенергетики через пошкодження (унаслідок ракетних ударів) значної кількості як генерації, так і трансформаторних підстанцій споживачів. Таке руйнування та тимчасовий вихід із ладу елементів системи електропостачання значно ускладнили процес передачі та розподілу електроенергії до кінцевого споживача.

Один із факторів руйнівності атак на енергетичну інфраструктуру України був зумовлений тим, що поточна будова енергетичної системи має «централізовану» структуру. Тобто існує відносно невелика кількість джерел «великої генерації», які забезпечують більшу частину споживачів електроенергії. Як наслідок, удари по цих об'єктах чи по їхній інфраструктурі з великою імовірністю залишають без електропостачання значну частину споживачів, що в найгіршому випадку може спричинити надзвичайну ситуацію в Об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України та блекаут.

Одним із варіантів зменшення таких ризиків може бути децентралізація електропостачання завдяки збільшенню кількості джерел розосередженої генерації (ДРГ) та систем накопичення енергії (СНЕ), які можуть сприяти підвищенню надійності РМ, та збільшенню частки балансуєчих потужностей генерації, які мають сприяти підвищенню рівня надійності ОЕС України. Проте варто зважати, що існує обмеження за фінансами та часом, оскільки війна все ще знаходиться в активній фазі, а енергосистема має бути готова до наступного опалювального сезону. Тому завданням цієї роботи є аналіз основних короткострокових стратегій впровадження нових джерел генерації та використання потенціалу наявних для забезпечення надійної роботи ОЕС України.

**Поточний стан ОЕС України.** До початку повномасштабного вторгнення встановлена потужність генерації в Україні була значно більша, ніж того потребували споживачі, що забезпечувало потенціал для продовження роботи та імпорту електроенергії навіть у разі ви-



ходу в аварійний ремонт окремих блоків джерел «великої генерації». Щодо забезпечення енергетичними ресурсами можна навести такі дані [1]:

- власними ресурсами у вугіллі забезпечені на 70...75 %;
- власним ресурсом газу – на 67 % (решту імпортували з ЄС);
- за 2021 рік було побудовано 1,2 ГВт нових потужностей із відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).

Також слід зазначити, що Україна виконувала вимоги ENTSO-E та проводила тестування різних частин ОЕС України, що дало змогу в екстремально малий час після початку вторгнення синхронізуватися з мережею європейських операторів.

Після початку вторгнення більша частина інформації щодо енергетичного сектору стала закритою з міркувань національної безпеки [2]. Станом на липень 2022 наводилася інформація щодо зруйнованих та втрачених обсягів потужності (МВт), що показано на рис. 1 [1].

За інформацією центру Разумкова станом на серпень 2022 року різною мірою постраждало 30–40 % ВДЕ електростанцій у південних та південно-східних областях України (де їхній потенціал є одним із найбільших) або близько 1120...1500 МВт встановленої потужності [3]. А відповідно до заяв Міністра енергетики Германа Галуценка під час осінніх масових обстрілів було пошкоджено «близько 30 % енергетичної інфраструктури України» [4].

Спираючись на такі відкриті дані, можна зробити висновок, що навіть якщо частина з генеруючих потужностей підлягає відновленню, в Україні буде існувати потреба в заміні раніше зруйнованих. Вони мають бути замінені до початку нового опалювального сезону для недопущення потенційного дефіциту потужності в ОЕС України та примусового відключення споживачів. Не менш важливо врахувати потребу в збільшенні частки установок розподіленої генерації [5], що зумовлено тим, що в разі збільшення кількості ДРГ із меншою потужністю ракетні удари по ним стануть економічно недоцільними. Саме тому надалі в роботі будуть розглянуті основні стратегії щодо збільшення частки генерації, які можливо реалізувати на короткостроковій основі.

**Використання потужностей газотранспортної системи (ГТС) України для балансування системи.** Із початком війни у 2014 році в Україні з'явився значний дефіцит вугілля, оскільки значна його частина видобувалася на території Донбасу, й після початку повномасштабного вторгнення цей дефіцит тільки збільшився. Саме тому ще з кінця 2021 року було впроваджено політику щодо диверсифікації джерела постачання (первинного палива) та компенсовано дефіцит потужності в ОЕС України завдяки використанню природного газу [6]. Також нині значно зменшився транзит газу через Україну, унаслідок чого значна частина компресорних станцій (КС) наразі не використовується. Тому ГТС України виступила з ініціативою щодо можливого переобладнання КС, які не беруть участь у роботі ГТС України та передачі їх у тимчасове використання з метою забезпечення ОЕС України додатковими балансувальними потужностями.

Розглядається план щодо будівництва газотурбінних або газопоршневих електростанцій потужністю 20...200 МВт (сумарно 1350 МВт). Ці потужності можуть бути використані диспетчерами НЕК «Укренерго» як у звичайні дні, так і в разі аварійної ситуації в ОЕС України.

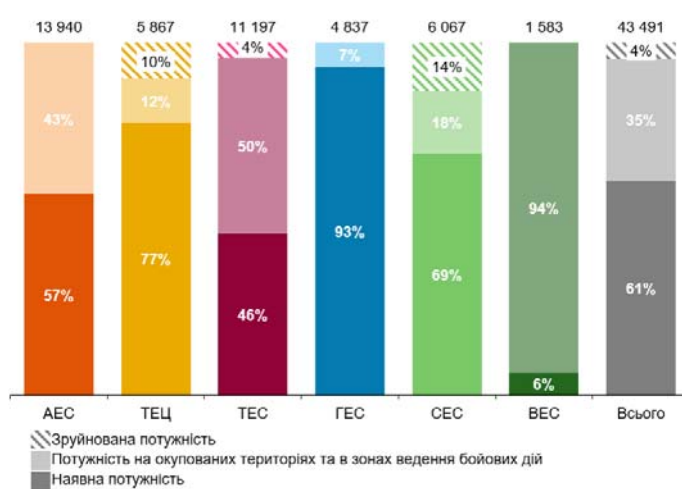


Рис. 1

Можна навести такий перелік КС, які потенційно можуть бути використані для зазначеної мети:

- КС Богородчани: 2 генераційні установки по 8 МВт;
- КС Боярка: 1 генераційна установка 10 МВт;
- КС Іллінці: 3 генераційні установки по 16 МВт;
- КС Бар: 1 генераційна установка 8 МВт.

Зазначені КС зображено зеленими колами на рис. 2 [7].



Рис. 2

Резюмуючи, можна зазначити, що за умов впровадження такого проекту ОЕС України отримає велику кількість малих та середніх балансуєчих потужностей від 8 до 52 МВт, що допоможе балансувати систему та зробити її більш децентралізованою, а отже, і менш вразливою для ракетних атак. Не варто забувати й про тенденцію збільшення частки ВДЕ, що і без військових дій створює потребу збільшення балансуєчої потужності, зважаючи на зруйновані та амортизовані вугільні блоки ТЕЦ та ТЕС.

**Плавучі електростанції.** Як раніше зазначалося, за 2022 рік було пошкоджено та зруйновано значну частину ТЕС та ТЕЦ, що є сильним ударом по енергосистемі України. У разі довгострокового планування розвитку сектору електроенергетики зруйновані потужності можливо було б замінити завдяки збільшенню частки відновлюваної енергетики та впровадженню системи управління попитом. Проте в умовах війни та потреби забезпечення споживачів електричною енергією в опалювальний період такий варіант є занадто довгим та витратним. Тому виникає потреба в альтернативі ТЕС/ТЕЦ, реалізація якої займала б від 1 до 4 місяців. Одним із варіантів вирішення зазначеної проблеми можуть стати плавучі електростанції.

Станом на весну 2023 року розглядалося 2 можливих варіанта плавучих електростанцій: *Carpowership* [8] та *Siemens seafloat* [9]. Основна ідея використання плавучих станцій полягає в їхньому розміщенні на території, яка не буде обстрілюватися ракетами. До прикладу, такі кораблі можна розмістити в Молдові. Генерація електроенергії буде відбуватися на безпечній території й передаватися в Україну через міждержавні перетини.

Щодо потужностей, які можуть бути забезпечені *Carpowership*, то на сайті виробника представлено такі моделі [8]:

- Khan: встановлена потужність 415 – 470 МВт;
- Shark: встановлена потужність 110 – 240 МВт;
- Orca: встановлена потужність 200 – 260 МВт;
- Seal: встановлена потужність 34 – 40 МВт;
- Mermaid: встановлена потужність 34 – 80 МВт.

У випадку, коли плавучі станції будуть розташовані в безпечному місці, їхня розосередженість не є основним завданням. Проте в разі їхнього подальшого використання цей фактор може бути важливим, оскільки розміщення кораблів із великими потужностями може спричинити більші проблеми, зважаючи на їхні розміри.

Щодо ціни використання таких електростанцій, то за оцінкою експертів [10] вартість може складати приблизно 20...25 євроцентів за кВт·год (7,30...9,13 грн за кВт·год), що значно відрізняється від тарифу, за яким купує електроенергію населення, проте не дуже відмінне від ціни, яку платить учасник ринку електроенергії. Тому така пропозиція може бути цікава

споживачам електроенергії в Одеській області, оскільки саме в цьому регіоні існують значні проблеми з дефіцитом генеруючих потужностей.

**Тенденція до збільшення частки ДРГ/СНЕ та можливість їхнього використання в острівному режимі.** Одним із побічних результатів виникнення надзвичайної ситуації в ОЕС України стала потреба українців власними силами забезпечити себе електроенергією. Власники бізнесу купували генератори, аби мати можливість продовжувати свій бізнес навіть за умов відключення світла. Мешканці багатоповерхових будинків купували накопичувачі енергії задля доступу до інтернету та продовження своєї роботи. Це все приклади використання ДРГ та СНЕ в автономному режимі і тенденція, яка виникає, коли для споживача створюється, хоч і жахливий, але все ж таки стимул для їхнього впровадження.

Саме тому в новій Енергетичній стратегії розвитку України до 2050 року одним із основних принципів є *«децентралізація генерації електроенергії по всій території країни для поліпшення стійкості та надійності енергозабезпечення»*.

Якщо розглядати більш короткострокові стратегії, то варто звернути увагу на національну програму «Плану відновлення України», у якій зазначено такі проекти:

- Будівництво пікових потужностей 1,5...2 ГВт і акумуляторів 0,7...1 ГВт;
- Будівництво розумних мереж (smart grids);
- Локалізація виробництва обладнання для ВДЕ (вітрові вежі, трансформатори, кабелі, електролізери, батареї) тощо.

Зважаючи на тенденцію до збільшення ДРГ та СНЕ в системах розподілу електричної енергії, доцільним буде передбачити можливість функціонування розподільчих мереж (РМ) як паралельно з централізованою енергосистемою, так і в автономному («острівному») режимі в разі виникнення аварійних ситуацій з метою підвищення надійності електропостачання. За таких умов з електропостачанням буде залишатися не тільки умовний комунально-побутовий споживач або окремих житловий будинок, а, наприклад, і якийсь великий район.

Проте для реалізації проектів створення таких «островів» мають бути передбачені відповідні правові та технічні вимоги. Серед основних вимог слід відмітити:

1. Правові вимоги: існує потреба розробити нормативні акти щодо процесу та умов можливості переходу частини РМ в «острівний» режим роботи; передбачити завчасне проектування таких «островів» з виділенням генерації та споживачів, які будуть функціонувати в такому режимі.
2. Технічні вимоги: потрібно підвищити рівень інформатизації РМ як з метою моніторингу для переходу/виходу в/з «острівного режиму», так і контролю якості показників (частота, напруга) під час функціонування РМ в «острівному режимі»; впровадити систему управління попитом та ресурсами генерації, які забезпечують функціонування «острівного» режиму.
3. Створення нової структури розподілу електричної енергії буде потребувати вирішення низки наукових завдань. Вони будуть включати питання розробки принципово відмінних від існуючих моделей аналізу надійності; створення нетрадиційних методів й алгоритмів визначення найефективніших місць розміщення та використання сучасного комутаційного обладнання, засобів релейного захисту та автоматики; формування методології оптимального, економічно обґрунтованого керування режимами створених інтегрованих систем електропостачання за різноманітних умов їхнього функціонування, та низки інших.

Впровадивши такі зміни в законодавство та розробивши відповідну технічну підтримку, постачальники та споживачі зможуть отримати певну «інструкцію» щодо їхньої можливості реалізації/використання ДРГ та СНЕ та технічних вимог, які мають виконуватися для надійного функціонування РМ, зокрема, в «острівному» режимі.

**Висновки.** За результатами проведеної роботи можна резюмувати, що повномасштабна війна пришвидшила раніше наявну тенденцію на децентралізацію електропостачання.

Зазначений процес має бути реалізований у найкоротші терміни у зв'язку з нагальною потребою забезпечити споживачів електроенергією в умовах атак по енергетичній інфраструктурі та виходу з ладу потужностей централізованої генерації, що були доступні до початку вторгнення.

Плани, наведені в цій роботі, та ті, які розробляються Міністерством енергетики для безпечного електропостачання споживачам, мають прискорено реалізовуватися до початку опалювального періоду, оскільки затримка з їхнім впровадженням в умовах уже пошкодженої енергосистеми може призвести до критичних наслідків.

В умовах збільшення ДРГ актуалізується питання управління їхньою роботою та зміни структури РМ, які раніше були розраховані на централізоване живлення. Також одним із варіантів вирішення питання підтримки електропостачання споживачів у разі пошкодження об'єктів «великої» генерації може бути забезпечення (як у нормативному, так і в технічному аспектах) функціонування частини мережі в «острівному» режимі.

Зважаючи на потреби планування функціонування РМ, як паралельно з централізованою енергосистемою, так і в «острівному» режимі, та необхідність урахування впливу нових ДРГ, розміщених як в межах таких «островів», так і поза ними, має бути порушене питання щодо забезпечення надійності електропостачання, а отже, і створення нових методів та алгоритмів оцінки показників надійності та оптимального розміщення комутаційного та захисного обладнання в зазначених умовах.

1. Проект Плану відновлення України : Проект від 01.07.2022 р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
2. Індекс прозорості енергетики 2022: як війна вплинула на відкритість сектору. DiXi Group. URL: <https://dixigroup.org/analytic/indeks-prozorosti-energetiki-2022/>
3. Омельченко В. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. Центр Разумкова. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sekto-vidnovlyuvanoi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>
4. Прасад А. Російські обстріли пошкодили близько 30% енергетичної інфраструктури України – Галущенко. Forbes.ua. URL: <https://forbes.ua/news/rosiyski-obstrili-poshkodili-blizko-30-energetichnoi-infrastrukturi-ukraini-galushchenko-12102022-8936>
5. Про ринок електричної енергії. Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII станом на 31 берез. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
6. Про погодження Тимчасового порядку придбання допоміжної послуги для забезпечення регулювання частоти та активної потужності в ОЕС України, а саме забезпечення резервів заміщення (третинне регулювання). Постанова від 11.11.2021 р. № 2003. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v2003874-21#Text>
7. Оператор ГТС України. URL: <https://tsoua.com/>
8. Karpowership. URL: <https://karpowership.com/en/>
9. SeaFloat power plants. siemens-energy.com Global Website. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/seafloat.html>
10. Чайка О. Крім турецької компанії, плавучі електростанції Україні пропонує німецька Siemens, але цієї зими вони навряд допоможуть. Forbes.ua. URL: <https://forbes.ua/company/krim-turetskoi-karpowership-plavuchi-elektrostantsii-ukraini-proponue-nimetska-siemens-energy-ale-tsiei-zimi-voni-navryad-dopomozhut-02122022-10197>

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ENERGY SYSTEM AND STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED GENERATION IN UKRAINE

I.V. Frolov

National Technical University of Ukraine I. Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

Beresteiskiy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

e-mail: [wweivan97@gmail.com](mailto:wweivan97@gmail.com)

*The article analyzes the state of the Unified Energy System (UES) of Ukraine as of the beginning of 2023. The main focus of the article is on the issue of energy security and the consequences for the UES of Ukraine after mass attacks on energy facilities from the beginning of a full-scale invasion until the beginning of 2023. The assessment of the main shortcomings of the current model of the operation of the power system was carried out and the current short-term strategies for its modernization were considered in order to prepare for the heating season of 2023-2024. During the analysis of potentially possible short-term strategies, the main attention was paid to the recovery plan of Ukraine,*



available capacities of the Gas Transport System (GTS) of Ukraine, potential of using "Floating Power Plants", potential possibilities of the operation of distribution networks (DM) in the "island mode" and stimulating an increase in the share of distributed sources generation (DSG) and energy storage systems (ESS). The current results of the implementation of the above-mentioned strategies and the potential of their development after the end of a full-scale war in accordance with the energy strategy of Ukraine until 2035 and the main theses of the energy strategy of Ukraine until 2050 were presented. Based on the results of the analysis, the recommendation regarding the implementation of the preparation of the UES of Ukraine for the next heating season were formed. Bibl. 10, fig. 2.

**Key words:** distributed generation, shortage of generating capacities, renewable energy sources, energy storage systems, energy security, electricity supply.

1. Draft of the Recovery Plan of Ukraine: Draft of 01.07.2022 URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf> (Ukr)
2. Energy Transparency Index 2022: How war has affected sector openness. DiXi Group. URL: <https://dixigroup.org/analytic/indeks-prozorosti-energetiki-2022/> (Ukr)
3. Omelchenko V. Renewable energy sector of Ukraine before, during and after the war. Razumkov Center. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny> (Ukr)
4. Prasad A. Russian shelling damaged about 30% of Ukraine's energy infrastructure – Halushchenko. Forbes.ua. URL: <https://forbes.ua/news/rosiyski-obstrili-poshkodili-blizko-30-energetichnoi-infrastrukturi-ukraini-galushchenko-12102022-8936> (Ukr)
5. Electric energy market. Law of Ukraine dated April 13, 2017 No. 2019-VIII (accessed on March 31). 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (Ukr)
6. On the approval of the Temporary procedure for the acquisition of auxiliary services to ensure regulation of frequency and active power in the UES of Ukraine, namely the provision of replacement reserves (tertiary regulation). Resolution dated 11.11.2021 No. 2003. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v2003874-21#Text> (Ukr)
7. GTSO Ukraine. URL: <https://tsoua.com/> (Ukr)
8. Karpowership. URL: <https://karpowership.com/en/> (Ukr)
9. SeaFloat power plants. siemens-energy.com Global Website. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/seafloat.html> (Ukr)
10. Chaika O. In addition to the Turkish company, the German Siemens offers floating power plants to Ukraine, but they are unlikely to help this winter. Forbes.ua. URL: <https://forbes.ua/company/krim-turetskoi-karpowership-plavuchi-elektrostantsii-ukraini-proponue-nimetska-siemens-energy-ale-tsiei-zimi-voni-navryad-dopomozhut-02122022-10197> (Ukr)

Надійшла: 05.12.2023  
Прийнята: 05.01.2024

Submitted: 05.12.2023  
Accepted: 05.01.2024