

УДК 620.91:330.342.14(477)

DOI: <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2025-3-2>

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ЧЕРЕЗ СИНЕРГІЮ “DEMAND-SIDE” І “SUPPLY-SIDE” ПІДХОДІВ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ПІДПРИЄМСТВ¹

В. І. ВОРОНЕНКО

кандидат економічних наук, доцент,
старший викладач кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0301-5924>

І. М. СОТНИК

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5787-2481>

Я. Ю. МІЩЕНКО

студент;

М. В. ПОКУТНІЙ

аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5489-5262>

ЦЗЯ ВЕЙ

студент,

Сумський державний університет

Анотація. У статті обґрунтовано необхідність формування комплексної стратегії розвитку зеленої енергетики України в умовах війни із залученням підприємств. Актуальність зумовлена загрозами енергетичній безпеці та потребою адаптації до кризових умов. **Метою дослідження** є розроблення підходів до комплексної стратегії розвитку зеленої енергетики, яка передбачає інтеграцію управління попиту (“demand-side”) та пропозицією (“supply-side”) з урахуванням особливостей кризового періоду. **Методологія** базується на системному, сценарному й порівняльному аналізі. **У результаті** розроблено модель взаємодії споживчої та виробничої політик, що сприяє стабілізації енергосистеми країни. **Практична цінність статті** полягає у запропонованні гнучких рішень для забезпечення автономності, децентралізації та стійкості енергетики в надзвичайних умовах.

Ключові слова: зелена енергетика, енергетична безпека, воєнний стан, “demand-side”, “supply-side”, стратегія розвитку, децентралізація.

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Повномасштабне військове вторгнення 24 лютого 2022 року Російської Федерації в Україну кардинально змінило стратегічний ландшафт функціонування енергетичної системи України. Масовані атаки на критичну енергетичну інфраструктуру з використанням всіх можливих засобів ураження час від часу призводять до збою централізованого енергопостачання. Відповідно відбувається дестабілізація всієї економічної діяльності країни. Отже, це висуває питання енергетичної безпеки, автономності та адаптивності на перший план для суспільства та влади. Через це розвиток відновлювальної енергетики набуває не лише

екологічного чи економічного, а й екзистенційного значення в якості засобу для виживання та збереження українського суверенітету. Водночас, розвиток відновлювальних джерел енергії (ВДЕ – далі в тесті) у таких надзвичайних умовах вимагає нових підходів до стратегування з урахуванням воєнних загроз, дефіциту ресурсів, потреби в децентралізації та швидкій адаптації до змін.

На жаль, основна маса існуючих практик розвитку ВДЕ ґрунтувалася на умовах мирного часу та, відповідно, передбачали повільну, ринково-орієнтовану еволюцію. Однак, нова воєнна реальність потребує комплексної моделі, яка б поєднувала інструменти формування попиту (“demand-side”) із заходами з боку пропозиції (“supply-side”).

¹ Робота виконана в рамках НДР «Цифрові трансформації для забезпечення цивільного захисту та повоєнного відновлення економіки в умовах екологічних і соціальних викликів» (№ д/р. 0124U000549); НДР «Фундаментальні засади сталого та інклюзивного розвитку регіонального простору для повоєнного відновлення в умовах цифрової трансформації» (№ д/р. 0125U001620).

На сьогоднішній день у вітчизняному науковому та політичному дискурсі відсутня цілісна модель, яка б синхронізувала ці підходи в умовах воєнного стану. Існує розрив між короткостроковими заходами екстреної стабілізації та довгостроковими планами розвитку ВДЕ. Відповідно, це призводить до того, що заходи, здійснені владою чи запропоновані науковим товариством, залишаються фрагментарними, не достатньо адаптованими до кризових умов і не здатні сформувати життєздатну архітектуру стійкої енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика розвитку відновлювальної енергетики у контексті воєнних загроз та трансформаційної відбудови активно досліджувалась як в українському, так і міжнародному науковому просторі. Низка сучасних праць наголошує на необхідності переходу до інтегрованої енергетичної моделі, що поєднує децентралізацію, цифровізацію та гнучке управління попитом і пропозицією.

У роботі Strielkowski [1] акцент зроблено на потенціалі зеленої водневої економіки в Україні, зокрема в контексті відбудови та диверсифікації енергетичного кластеру. Аналогічно, дослідження Devlin та ін. [2] демонструє техніко-економічну оптимізацію ланцюгів постачань у промисловості за допомогою зеленої енергії, на прикладі України як держави, що зазнала глибоких інфраструктурних руйнувань.

Зі стратегічної точки зору, Flamm і Kroll [3] розглядають енергетичну безпеку та екологічну стійкість як елементи мирного відновлення України, тоді як Liu та ін. [4] пропонують багатовимірну модель енергетичної безпеки для країн ЄС після початку повномасштабної війни в Україні. У публікації Делеган і Мелеганіч [5], а також Knodt та ін. [6] особлива увага приділяється інтеграції кліматичних цілей та енергетичної самодостатності України та ЄС, де ВДЕ відіграють роль критичної інфраструктури.

Окремий напрямок наукового аналізу становить управління формуванням попиту. У працях Ramín та ін. [7] та Денисюк та ін. [8] досліджуються можливості оптимізації споживання енергії в енергоємних галузях, пропонуючи алгоритми гнучкого виробничого планування. Їхні висновки підкріплюють необхідність включення механізмів управління формуванням попиту до політики енергетичної адаптації в умовах дефіциту ресурсів та пікових навантажень.

Моделювання довгострокових сценаріїв розвитку енергосистеми України з урахуванням декарбонізації представлено в дослідженнях Біткової та Манахова [9] та Petrović та ін. [10], де зроблено акцент на системну динаміку і прогнозування ролі ВДЕ до 2050 року. Крім того, Jurasz та ін. [11] розглядають концепцію взаємодоповнюваності ВДЕ (вітрової та сонячної), що актуалізує необ-

хідність інтеграції рішень гібридного постачання у майбутніх енергетичних проєктах.

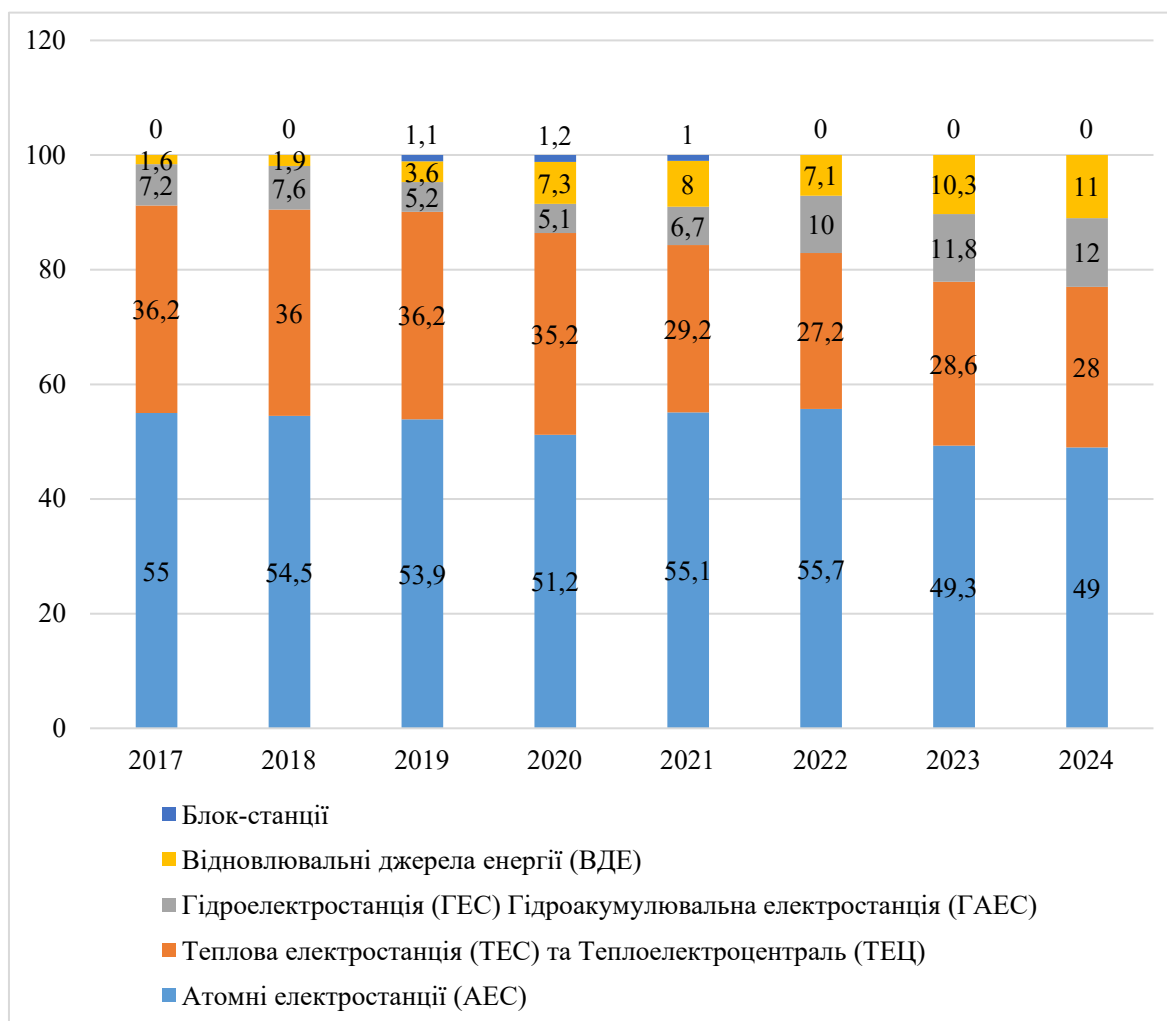
Таким чином, наявні дослідження підтверджують науковий інтерес до розробки комплексної моделі розвитку відновлювальної енергетики. Попри це, більшість досліджень зосереджені переважно на технічному потенціалі цього напрямку або на макроекономічних аспектах інвестицій та тарифної політики. Водночас, залишається недостатньо опрацьованим питання системного та синергічного використання стимулювання попиту (demand-side) та пропозиції (supply-side) у контексті розбудови енергетичної системи України XXI століття, особливо з огляду на виклики, пов'язані з повномасштабною війною та атаками на енергетичну інфраструктуру.

Формування цілей статті (постановка завдання). Мета даної роботи полягає у розробленні комплексної стратегії розвитку зеленої енергетики України через інтеграцію політик стимулювання попиту ("demand-side") та пропозиції ("supply-side"), що відповідають викликам воєнного часу та забезпечують енергетичну стійкість країни із залученням підприємств.

Методологія дослідження. Основними методологічними інструментами дослідження стали: системний аналіз (для ідентифікації взаємозв'язків між елементами енергетичної системи України в умовах війни); аналіз динаміки структурних змін (для виявлення ключових трендів і аномалій); порівняльний аналіз (для зіставлення довоєнного та воєнного періодів розвитку ВДЕ, визначення зміни ваги окремих типів генерації); сценарний підхід (для формування пропозицій у вигляді інтегрованої моделі розвитку зеленої енергетики); емпіричне узагальнення (на основі державних та галузевих звітів).

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. У нинішніх умовах, коли на території України тривають активні бойові дії, а енергетична інфраструктура зазнає значних руйнувань унаслідок цілеспрямованих терористичних атак, переформатування національної енергетичної системи, зокрема структури генераційних потужностей, постає як критично важливе завдання. Досягнення цієї мети неможливе без розробки та впровадження нових підходів до розвитку ВДЕ, які мають стати одним із ключових компонентів стратегії забезпечення енергетичної стійкості держави. У зв'язку з цим першим аналітичним кроком є дослідження динаміки змін у структурі генерації електроенергії (рис. 1).

Аналіз структури генерації електроенергії в Україні впродовж 2017–2021 років показує стабільно високу частку атомної енергетики в загальному балансі виробництва електроенергії. Протягом цього періоду питома вага АЕС варіювалася в



*За 2024 р. дані частково прогнозовані через відсутність офіційної статистики, за винятком опублікованих показників частки ВДЕ

Рис. 1. Структура генерації електроенергії в Україні за 2017–2024 рр., %

Джерело: сформовано авторами на основі [12; 13; 14; 15; 16; 17; 18]

межах 51,2–55,7%, що зумовлено переважно плановими ремонтами реакторів.

Натомість теплові електростанції (ТЕС і ТЕЦ), які у 2017 році забезпечували 36,2% генерації, вже у 2021 році, за рахунок поступової тенденції до зменшення частки в структурі виробництва електроенергії становила вже 29,2%. Дана ситуація є наслідком системної проблеми технологічної застарілості більшості об'єктів теплової генерації, а також їхньої залежності від антрацитового вугілля, значна частина якого до 2014 року постачалася з нині окупованих Російською Федерацією територій Донецької та Луганської областей. Відповідно через високу вартість переобладнання та обмежений доступ до ресурсів, частина вугільних потужностей виявилася нерентабельною або технічно непридатною до експлуатації.

У сегменті гідрогенерації, навпаки з 2017 по 2018 рік відбувалося зростання виробництва, однак з 2019–2020 років фіксується спад

(до 5,1–5,2%), зумовлений ремонтами і частковою реконструкцією об'єктів. Проте після 2021 року ці потужності введені в експлуатацію і частка ГЕС та ГАЕС зросла до 6,7%.

Особливе значення в контексті мети статті має розвиток ВДЕ. Починаючи з 2017 року, під впливом дії «зеленого» тарифу спостерігалось стаке зростання їхньої частки – з 1,6% до 8,0% у 2021 році. Це є свідченням активізації інвестицій у сектор сонячної та вітрової енергетики, що, попри всі ризики, поступово закладає основу для формування більш децентралізованої та стійкої моделі енергопостачання.

Також у структурі генерації у 2019–2021 роках вперше з'являються блок-станції, питома вага яких хоча й незначна (1,0–1,1%), проте вони відображають пошук альтернатив локального характеру – особливо з боку промислових споживачів, які прагнули забезпечити власну енергетичну незалежність.

Як бачимо, навіть у довоєнний період, структура електрогенерації України відображала початок переходу до нової парадигми розвитку, а саме орієнтацію на децентралізацію, зниження залежності від вразливих видів палива та поступове нарощування частки ВДЕ. Утім, події 2022 року докорінно змінили масштаби і темпи цього процесу, про що свідчать дані (рис. 1).

Отже, з 2022 року, на тлі повномасштабної агресії Росії, структура генерації електроенергії в Україні залишалась стабільною, однак при цьому відбувалось вибуття об'єктів генерації, розподілення та споживання. За 2022 рік загальне виробництво електроенергії скоротилось на 27,5%: на АЕС – на 28%, ТЕС – на 35%, ТЕЦ – на 32%, тоді як лише ГЕС показали приріст у 6,5%, а ГАЕС залишились стабільними [16]. Ситуація у 2024 році стала ще критичнішою: виробництво впало орієнтовно на 50% від довоєнного рівня. З ладу виведено дві ГЕС, знищено 80% генерації ДТЕК і всю генерацію Центренерго [19].

У відповідь різко зросла роль імпорту з ЄС. Після синхронізації з європейською енергетичною системою в 2022 році, Україна активніше закуповує електроенергію для покриття дефіциту. У 2023 році імпорт склав 806,4 тис. МВт·год, а у 2024 – вже 4436,6 тис. МВт·год, що є рекордним показником за останнє десятиліття [20].

Дані з рис. 1 свідчать, що упродовж 2022–2024 років, структура електрогенерації України залишалась відносно стабільною в порівнянні з минулими роками. Відповідно АЕС залишаються головною складовою енергосистеми країни, а їх частка коливається в межах 49–55%.

В цей же час, відбувалось зменшення долі виробленої електроенергії ТЕС та ТЕЦ з 36,2% у 2017 році до 28–30% у 2024-му. Це зумовлене не лише фізичним знищенням об'єктів унаслідок бойових дій, а й ускладненням або навіть унеможливленням логістики із постачанням палива, а також значного зношення наявного обладнання, що й до війни потребувало модернізації.

Однак в цій не простій ситуації, зберігається позитивна динаміка збільшення виробництва за рахунок ГЕС і ГАЕС до 12–13% у 2024 році. Схожа ситуація відбувається в секторі ВДЕ, частка якої складала 10,3% у 2023 році. Тобто відбувається поступове збільшення потенціалу зеленої генерації в умовах війни.

Загалом варто зазначити, що починаючи з кінця 2023 року, у зв'язку з посиленням загроз енергетичній інфраструктурі, державні органи припинили публікацію повної статистики щодо енергетичного сектору та її генераційних потужностей, що ускладнило аналітичну діяльність. Водночас за останні два-три роки потреба переосмислення архітектури енергосистеми України вийшла на перший план. В даному процесі потрібен фокус

на гнучкості, децентралізації та розвитку ВДЕ, як ключових компонентів енергетичної безпеки. Як рефлексія на дані виклики виникає необхідність у формуванні інтегрованої стратегії, що поєднує підходи управління попиту (“demand-side”) і розвитку пропозиції (“supply-side”).

У науковому контексті “demand-side” стратегія – це сукупність політичних, технологічних та управлінських заходів, спрямованих впливати на споживача електроенергії з метою оптимізації попиту, підвищення енергоефективності та згладжування пікових навантажень [21]. Для України в розрізі викликів війни, найбільш актуальним стає зміцнення стійкості енергосистеми шляхом забезпечення власної генерації, що дозволяє досягти часткової або повної енергетичної автономії. Однак, не варто забувати про механізм гнучкого тарифоутворення й програм підживлення попиту. Загалом це дозволить знизити витрати на енергію, підвищити ефективність мережі й забезпечити більшу інтеграцію ВДЕ, особливо у поєднанні зі смарт-мережами.

У свою чергу, “supply-side” стратегії – це набір стратегічних заходів для ефективного управління виробництвом, передачею та розподілом енергії, що мають забезпечити надійність системи та стійке збільшення генераційного потенціалу [22]. У цьому напрямі для України надзвичайно важливим є формування повноцінного, конкурентного та прозорого ринку електроенергії. Однак, в умовах воєнного стану, реалізація цього завдання значно ускладнюється через руйнування інфраструктури, обмеження у доступі до ресурсів та високий рівень невизначеності. Відтак, доцільним є зосередження на поетапних, прикладних рішеннях, зокрема – вдосконаленні цифрових інструментів, як-от електронних особистих кабінетів у системі енергорозподільчого підприємства «Енера», що у перспективі сприятиме прозорій взаємодії між споживачами та постачальниками електроенергії, а також створенню основ для функціонування відкритого енергетичного ринку.

Спочатку розглянемо конкретні заходи, які варто державі реалізувати в розрізі “demand-side” стратегії (рис. 2). Це забезпечить створення системного механізму управління попиту, де споживач не є пасивною стороною, а діє як активний учасник енергетичного ринку, здатний опосередковано впливати на баланс системи.

Загалом, Україна вже реалізує концепцію розумного споживання. Для побутових споживачів, можливість використання режиму денний/нічний тариф діє з березня 2017 року. Однак, дана ініціатива не набрала масового характеру в зв'язку з дороговизною встановлення двозонного лічильника чи смарт лічильника. Для подолання цього негативного фактору варто або надавати безвідсоткові кредити, або надати можливість отримання безкоштовного монтажу та опломбування лічиль-

Програма розумного енергоспоживання

- Використання механізму стимулювання перенесення частини побутового та промислового споживання на нічні години через "нічний тариф".

Ініціатива автономія домогосподарства

- Надання домогосподарствам доступного кредитування для систем автономного живлення, що базуються на СЕС чи ВЕС.

Механізм інвестиційної компенсації у ВДЕ для бізнесу

- Створення податкового інструменту для підприємств: у разі інвестування прибутку в автономну генерацію на основі ВДЕ, сума витрат не підлягає оподаткуванню податком на прибуток.

Створення Єдиного реєстру ВДЕ-інфраструктури

- Впровадження добровільної реєстрації автономних ВДЕ-систем із фіксацією технічних характеристик. Це створює правову базу для потенційної інтеграції таких об'єктів у національну систему продажу надлишкової електроенергії, зокрема через механізм викупу державою.

Національна просвітницька діяльність та інформування

- Ведення постійної просвітницької та інформаційної програми, спрямованої на підвищення обізнаності населення та бізнесу щодо переваг використання ВДЕ, ощадливого споживання електроенергії та головне про доступні механізми підтримки.

Рис. 2. Заходи, раціонального енергоспоживання в розрізі "demand-side" стратегії

ника. Це буде особливо актуально для об'єднань співвласників багатоквартирних будинків.

Також, на сьогодні діє програма безвідсоткових кредитів до 480 000 грн для встановлення СЕС та акумуляторів у домогосподарствах (до 10 кВт), що видаються через Приватбанк, Ощадбанк, Укргазбанк та інші кредитні установи – держава компенсує відсотки на 5 років [23]. Однак до даного інструменту варто додати й можливість встановлення ВЕС, це дало змогу охопити більший відсоток населення.

Дуже актуальним на сьогодні для країни є механізм інвестиційної компенсації у ВДЕ для бізнесу. Однак, для його використання потрібно розробити нормативно-правову базу, що потребує певних фінансових затрат. Однак, впровадження цього дасть за короткий період в разі збільшити генераційні потужності на базі ВДЕ та дозволить у майбутньому побудувати вільний ринок електроенергії. В даному ключі також варто створити Єдиний реєстр автономної ВДЕ інфраструктури, щоб у подальшому була можливість швидкого переобладнання даних систем у відкриті.

З іншого боку, розглянемо дії, які потрібно здійснити для створення ефективного системного механізму стимулювання генерації електроенергії через ВДЕ (рис. 3).

Отже, «зелений тариф» є основним інструментом стимулювання розвитку ВДЕ, за яким держава зобов'язується викуповувати вироблену електроенергію за фіксованим тарифом. Однак, заборгованість «Гарантованого покупця» в Україні становить 22,3 млрд грн. перед виробниками електроенергії [24]. Відповідно, постає необхідність оновлення й вдосконалення цього механізму з метою адаптації його до умов воєнного часу.

Запровадження механізму заліку обсягів електроенергії, виробленої об'єктами ВДЕ, у межах одного суб'єкта (фізичної або юридичної особи), незалежно від місця фактичного споживання дозволить власникам кількох об'єктів нерухомості чи виробничих майданчиків використовувати генерацію з однієї установки ВДЕ для покриття споживання на інших об'єктах. Фактично це призведе до зменшення боргового навантаження. Також, варто відзначити, що дана інновація не потребує значних інвестицій, а й в майбутньому послужить за основу створення вільного ринку електроенергії.

Окрім такого підходу, можливий також інший шлях, а саме: шляхом переходу для ВДЕ-станцій потужністю понад 500 кВт на реалізацію електроенергії за ринковими цінами, а не за фіксованими ставками. Це дозволить вивільнити значний об'єм

Вдосконалення програми "зеленого тарифу"

- Можливість заліку обсягів електроенергії, виробленої ВДЕ на одному об'єкті, у рахунок споживання на інших об'єктах тієї ж фізичної або юридичної особи (напр., на підприємстві чи в приватному секторі).
- Врегулювання питань заборгованості гарантованого покупця: для станцій потужністю понад 500 кВт. – тимчасовий перехід на ринкову ціну без зобов'язань компенсації після скасування воєнного стану.

Аукціони для підтримки ВДЕ

- Організація регіональних аукціонів на будівництво ВДЕ –об'єктів у безпечніших областях. Держава забезпечує доступ до землі та підключення до мережі, інвестор – будівництво й експлуатацію. Прибуток даної кооперації ділиться 30% держав, а 70% інвестору.

Розбудова сховище енергії

- Створення систем енергетичних накопичувачів, які дозволяють згладжувати добові коливання виробництва та споживання, балансувати систему під час перебоїв. Можна здійснювати, як через державні підприємства, так і мотивувати фінансово приватні до даних дій.

Фонд страхування інвестицій у ВДЕ під час війни

- Створення партнерського з МВФ фонду, який компенсуватиме втрати або ризики для інвесторів, щокладаються у ВДЕ в Україні в період воєнного стану.

Створення засад для вільного ринку електроенергії

- Створення нормативно правової бази для вільного ринку електроенергії, де використовуватиметься центральна інфраструктура як основний інструмент передачі. Збільшення функціоналу електронних кабінетів споживачів та виробників електроенергії в системі енергопостачального підприємства «Енера». Вдосконалення механізмів закупівель та підвищення ролі локальних виробників у формуванні ринкових цін.

Рис. 3. Дії для збільшення об'ємів генерації електроенергії за допомогою ВДЕ в “supply-side” стратегії

коштів які можна буде перенаправити на інші більш гнучкі ініціативи розвитку даного сектору.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. У контексті повномасштабної війни, що супроводжується систематичними атаками на енергетичну інфраструктуру, питання трансформації енергетичної системи України виходить за межі техніко-економічного дискурсу і набуває екзистенційного значення. Енергетична безпека постає не лише як елемент національної економіки, а як ключова умова виживання, стабільності та збереження державного суверенітету.

Проаналізована динаміка структури генерації електроенергії в Україні за 2017–2024 роки свідчить про поступовий, хоча й асиметричний

перехід до нової парадигми енергозабезпечення. Незважаючи на кризовий характер останніх років, відзначено стійке зростання частки відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячної, вітрової та гідрогенерації.

Водночас, існуючі політики підтримки ВДЕ досі не відповідають викликам воєнного стану, оскільки залишаються фрагментарними, інерційними та надмірно орієнтованими на умови мирного часу. У зв'язку з цим, запропонована в статті концепція інтеграції підходів управління попиту (“demand-side”) та розвитку пропозиції (“supply-side”) виступає як необхідна умова формування стійкої та адаптивної моделі енергетики нового покоління.

З боку “demand-side” ключовими завданнями є посилення ролі споживача як активного елементу

енергосистеми, розширення доступу до смарт-лічильників, гнучке тарифоутворення, впровадження фінансових стимулів (пільгове кредитування, компенсації) для встановлення автономних джерел енергії. З боку “supply-side” – створення умов для прозорого та конкурентного енергетичного ринку, цифровізація обліку та взаємодії між суб’єктами ринку, а також державна підтримка локальних проєктів генерації, що мають високу гнучкість і стійкість до зовнішніх загроз.

Таким чином, комплексна стратегія розвитку зеленої енергетики України повинна базуватися на симбіозі дій з обох боків – попиту і пропозиції – з урахуванням реалій воєнного стану, технологічної вразливості, соціально-економічних викликів і геополітичної турбулентності. Лише за умов цілісного, інтегрованого підходу можливо забезпечити енергетичну незалежність, посилити стійкість до криз і створити передумови для інноваційного прориву в післявоєнний період.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Strielkowski W. Efficient low-carbon development in green hydrogen and ammonia economy: a case of Ukraine. 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.22326>
2. Devlin A., Mykhnenko V., Zagoruichyk A., Salmon N., Soldak M. Techno-economic optimisation of steel supply chains in the clean energy transition: A case study of post-war Ukraine. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 466. Article ID 142675. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142675>
3. Flamm P., Kroll S. Environmental (in)security, peacebuilding and green economic recovery in the context of Russia’s war against Ukraine. *Environment and Security*. 2024. Vol. 2, No. 1. P. 21–46. DOI: <https://doi.org/10.1177/27538796241231332>
4. Liu J., Fu J., Wong S., Bashir S. Energy Security and Sustainability for the European Union after/during the Ukraine Crisis: A Perspective. *Energy & Fuels*. 2023. Vol. 37. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c02556>
5. Svitlana D., Hanna M. Environmental and Energy Security on the Way to Rebuilding Ukraine on the Principle of Zero Carbon Footprint. Nate S. (eds) *Ukraine’s Journey to Recovery, Reform and Post-War Reconstruction*. Cham: Springer, 2025. (Contributions to Security and Defence Studies). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-66434-2_14
6. Knodt M., Ringel M., Bruch N. Secure and Sustainable? Unveiling the Impact of the Russian War on EU Energy Governance. Wiesner C., Knodt M. (eds) *The War Against Ukraine and the EU*. Cham: Palgrave Macmillan, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35040-5_7
7. Ramin D., Spinelli S., Brusafferri A. Demand-side management via optimal production scheduling in power-intensive industries: The case of metal casting process. *Applied Energy*. 2018. Vol. 225. P. 622–636. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.084>
8. Denysiuk S., Kotsar O., Opryshko V. Increasing the energy efficiency of warehouses using demand-side management mechanisms. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. No. 2(1(34)). P. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.99914>
9. Bitkova T., Manakhov K. Alternative energy in Ukraine. System dynamics methodology in RES research. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University Economic Series*. 2024. No. 106. P. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2024-106-02>
10. Petrović S. N., Diachuk O., Podolets R., Semeniuk A., Bühler F., Grandal R., Boucenna M., Balyk O. Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 22. Article ID 7731. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14227731>
11. Jurasz J., Canales F. A., Kies A., Guezgouz M., Beluco A. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*. 2020. Vol. 195. P. 703–724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.087>
12. Сучасні тенденції та регіональні відмінності розвитку енергетики в Україні. *Сучасні риси національної економіки України*. URL: <https://surl.li/tvjqpx> (дата звернення: 03.04.2025).
13. Результати роботи ринку електроенергії в 2018 році. *Бізнес Цензор*. URL: https://censor.net/biz/resonance/3106395/rezultati_roboti_rinku_elektroenerg_v_2018_rots (дата звернення: 03.04.2025).
14. Динаміка і структура виробництва електроенергії в ОЕС України у 2019 році. *Всеукраїнська Енергетична Асамблея*. URL: <https://uaea.com.ua/news/pek-news/electricity-2019.html> (дата звернення: 04.04.2025).
15. Україна у 2021 році збільшила виробництво електроенергії на 5,2%, споживання – на 5,7% – огляд. *Interfax*. URL: <https://interfax.com.ua/news/greendeal/790844.html> (дата звернення: 08.04.2025).
16. Загальне споживання е/е в країні за підсумками 2022 року скоротилося на 31,5% р./р. *GMK CENTER*. URL: <https://gmk.center.ua/news/metallurgii-ukraini-u-2022-roci-skorotili-spozhyvannya-elektroenergii-na-52-r/> (дата звернення: 08.04.2025).
17. Звіт про результати діяльності НКРЕП. 2023. 27 с. URL: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Vyuletyn_do_richnogo_zvitu/broshura_do_richnogo_zvitu_nkrekp-2023.pdf (дата звернення: 09.04.2025).
18. Виробництво електроенергії з ВДЕ у 2024 р. зросло на 6,4%. *Expro consulting*. URL: <https://expro.com.ua/novini/virobnictvo-elektroenerg-z-vde-u-2024-r-zroslo-na-64> (дата звернення: 09.04.2025).
19. Виробництво електроенергії в Україні 2024: де та як відбувається. *ICTV*. URL: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20240703-vyrobnytvo-elektroenergiyi-v-ukrayini-2024-de-ta-yak-vidbuvayetsya/> (дата звернення: 10.04.2025).

20. Рекордний імпорт та мінімальний експорт електроенергії за останнє десятиліття показала Україна у 2024 році. *dixigroup*. URL: <https://dixigroup.org/rekordnyj-import-ta-minimalnyj-eksport-elektroenergiyi-za-ostannye-desyatlitya-pokazala-ukrayina-u-2024-roczii/> (дата звернення: 15.04.2025).
21. Жук М. І. Магістерська дисертація. Київ, 2020. 105 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/ea8e7d64-b124-4a02-b37b-68d49aded2ab/content> (дата звернення: 15.05.2025).
22. Supply-side management. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/Module13_0.pdf (date of access: 15.05.2025).
23. Кредит на сонячні панелі та генератори: які програми для бізнесу та громадян пропонує уряд. *Економічна правда*. URL: https://pravda.com.ua/publications/2024/07/24/717077/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 08.05.2025).
24. Заборгованість за «зеленим» тарифом становить 16,3 млрд грн: «Гарантований покупець» оприлюднив нові дані. *Borgexpert*. URL: https://borgexpert.com/news/zaborhovanist-za-zelenym-taryfom-zroslo-do-16-3-mlrd-hrn-harpok-opryliudnyv-novi-dani#google_vignette (дата звернення: 27.05.2025).

REFERENCES

1. Strielkowski W. (2025). Efficient low-carbon development in green hydrogen and ammonia economy: a case of Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.22326>
2. Devlin A., Mykhnenko V., Zagoruchyk A., Salmon N., Soldak M. (2024). Techno-economic optimisation of steel supply chains in the clean energy transition: A case study of post-war Ukraine. *Journal of Cleaner Production*, vol. 466, p. 142675. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142675>
3. Flamm P., Kroll S. (2024). Environmental (in)security, peacebuilding and green economic recovery in the context of Russia's war against Ukraine. *Environment and Security*, vol. 2(1), p. 21–46. DOI: <https://doi.org/10.1177/27538796241231332>
4. Liu Jingbo, Fu Jinxia, Wong Stanislaus, Bashir Sajid. (2023). Energy Security and Sustainability for the European Union after/during the Ukraine Crisis: A Perspective. *Energy & Fuels*, no. 37. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c02556>
5. Svitlana D., Hanna M. (2025). Environmental and Energy Security on the Way to Rebuilding Ukraine on the Principle of Zero Carbon Footprint. In: Nate, S. (eds) *Ukraine's Journey to Recovery, Reform and Post-War Reconstruction. Contributions to Security and Defence Studies*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-66434-2_14
6. Knodt M., Ringel M., Bruch N. (2024). Secure and Sustainable? Unveiling the Impact of the Russian War on EU Energy Governance. In: Wiesner, C., Knodt, M. (eds) *The War Against Ukraine and the EU*. Palgrave Macmillan, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35040-5_7
7. Ramin D., Spinelli S., Brusaferrri A. (2018). Demand-side management via optimal production scheduling in power-intensive industries: The case of metal casting process. *Applied Energy*, vol. 225, pp. 622–636. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.084>
8. Denysiuk S., Kotsar O., Opryshko V. (2017). Increasing the energy efficiency of warehouses using demand-side management mechanisms. *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 2(1(34)), pp. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.99914>
9. Bitkova T., Manakhov K. (2024). Alternative energy in Ukraine. System dynamics methodology in RES research. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University Economic Series*, no. 106, p. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2024-106-02>
10. Petrović S. N., Diachuk O., Podolets R., Semeniuk A., Bühler F., Grandal R., Boucenna M., Balyk O. (2021). Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*, vol. 14(22), p. 7731. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14227731>
11. Jurasz J., Canales F. A., Kies A., Guezgouz M., Beluco A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar energy*, no. 195, pp. 703–724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.087>
12. Suchasni tendentsii ta rehionalni vidminnosti rozvytku enerhetyky v Ukraini [Current trends and regional differences in energy development in Ukraine]. Available at: <https://surl.li/tvjqpx> (accessed April 3, 2025).
13. Rezul'taty roboty rynku elektroenerhii v 2018 rotsi. Biznes Tsenzor [Results of the electricity market in 2018. Business Censor]. Available at: https://censor.net/biz/resonance/3106395/rezultati_roboti_rinku_elektroenerg_v_2018_rots (accessed April 3, 2025).
14. Dynamika i struktura vyrobnytstva elektroenerhii v OES Ukrainy u 2019 rotsi. Vseukrainska Enerhetychna Asambleia [Dynamics and structure of electricity production in Ukraine's UES in 2019. All-Ukrainian Energy Assembly]. Available at: <https://uaea.com.ua/news/pek-news/electricity-2019.html> (accessed April 4, 2025).
15. Ukraina u 2021 rotsi zbilshyla vyrobnytstvo elektroenerhii na 5.2%, spozhyvannia – na 5.7% – ohliad. Interfax [Ukraine increased electricity production in 2021 by 5.2%, consumption – by 5.7% – overview. Interfax]. Available at: <https://interfax.com.ua/news/greendeal/790844.html> (accessed April 8, 2025).
16. Zahalne spozhyvannia elektroenergii v kraini za pidsumkamy 2022 roku skorotylosia na 31.5% r./r. GMK Center [Total electricity consumption in Ukraine decreased by 31.5% in 2022. GMK Center]. Available at: <https://gmk.center/ua/news/metalurgi-ukraini-u-2022-roci-skorotili-spozhyvannya-elektroenergii-na-52-r-r/> (accessed April 8, 2025).
17. Natsionalna komisija, shcho zdiisniuie derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh. Zvit pro rezultaty diialnosti NKREKP za 2023 rik [Report on the results of activities of the NEURC for 2023]. Available at: <https://nkc.kpi.ua/zvit-pro-rezultaty-diialnosti-nkrekp-za-2023-rik/> (accessed April 8, 2025).

lable at: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Byuleten_do_richnogo_zvitu/broshura_do_richnogo_zvitu_nkrekp-2023.pdf (accessed April 9, 2025).

18. Vyrobnystvo elektroenerhii z VDE u 2024 r. zросло na 6.4%. ExPro Consulting [Electricity production from RES in 2024 increased by 6.4%. ExPro Consulting]. Available at: <https://expro.com.ua/novini/virobnictvo-elektroenerg-z-vde-u-2024-r-zroslo-na-64> (accessed April 9, 2025).

19. Vyrobnystvo elektroenerhii v Ukraini 2024: de ta yak vidbuvaietsia. ICTV [Electricity production in Ukraine 2024: where and how it takes place. ICTV]. Available at: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20240703-vyrobnyctvo-elektroenergiyi-v-ukrayini-2024-de-ta-yak-vidbuvayetsya/> (accessed April 10, 2025).

20. Rekordnyi import ta minimalnyi eksport elektroenerhii za ostannie desiatylittia pokazala Ukraina u 2024 rotsi. Dixi Group [Ukraine demonstrated record imports and minimal exports of electricity in 2024. Dixi Group]. Available at: <https://dixigroup.org/rekordnyj-import-ta-minimalnyj-eksport-elektroenergiyi-za-ostannye-desyatylittia-pokazala-ukrayina-u-2024-rocz/> (accessed April 15, 2025).

21. Zhuk, M. I. (2020). Mahistryska: avtoreferat [Master's thesis: abstract]. Kyiv. Available at: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/ea8e7d64-b124-4a02-b37b-68d49adcd2ab/content> (accessed May 15, 2025).

22. UNIDO (2009). Supply-side management (Module 13). United Nations Industrial Development Organization. Available at: https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/Module13_0.pdf (accessed May 15, 2025).

23. Kredyt na soniachni paneli ta heneratory: yaki prohramy dlia biznesu ta hromadian proponuie uriad. Ekonomichna Pravda [Loans for solar panels and generators: government programs for businesses and citizens. Economic Truth]. Available at: https://epravda.com.ua/publications/2024/07/24/717077/?utm_source=chatgpt.com (accessed May 8, 2025).

24. Zaborhovanist za "zelenym" taryfom stanovyt 16.3 mlrd hrn: "Harantovanyi pokupets" opryliudnyv novi dani. Borgexpert [Debt under the green tariff reached UAH 16.3 billion: Guaranteed Buyer published new data. Borgexpert]. Available at: <https://borgexpert.com/news/zaborhovanist-za-zelenym-taryfom-zroslo-do-16-3-mlrd-hrn-harpok-opryliudnyv-novi-dani> (accessed May 27, 2025).

Viacheslav Voronenko, Iryna Sotnyk, Yaroslav Mishchenko, Maksym Pokutnii, Jia Wei, Sumy State University. Analysis of the development of green energy in Ukraine through the synergy of demand-side and supply-side approaches with the involvement of enterprises.

Annotation. The article addresses the transformation of Ukraine's energy system amid the full-scale war with the involvement of enterprises. The relevance of the research stems from the urgent need to respond to emerging energy security threats caused by the destruction of critical infrastructure. The aim of the study is to develop a comprehensive strategy for green energy advancement through the integration of demand-side and supply-side approaches tailored to wartime challenges. **The methodology** includes system analysis, comparative assessment, scenario planning, and empirical generalization. **The results** justify the synergy between consumer-oriented mechanisms and supply-side incentives to enhance the flexibility and adaptability of the energy system. A structured model of actions for both strategic pillars is presented, covering initiatives such as the development of autonomous energy generation, wider access to smart technologies, improvement of tariff mechanisms, and better support for renewable energy sources. **The practical value** of the article lies in its proposed set of adaptable solutions that can be implemented at both national and local levels under conditions of limited resources and high uncertainty. This approach lays the foundation for building a next-generation energy architecture that is resilient to external shocks and adaptable to rapid changes.

Keywords: green energy, energy security, martial law, demand-side, supply-side, development strategy, decentralization.