

## РОЗДІЛ 1. ЕКОНОМІКА

УДК: 620.9:338.27:005.334(477)

DOI: 10.31732/2663-2209-2026-81-15-30

Дата надходження: 19.02.2026

Дата прийняття до друку: 12.03.2026

Дата публікації: 30.03.2026



Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

### ЕНЕРГЕТИЧНА СТІЙКІСТЬ ЯК СКЛАДОВА ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ: МОЖЛИВОСТІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ ВІЙНИ

Євгеній Бобров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Д-р екон. наук, професор, професор кафедри економіки та фінансів, ВНЗ «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна, e-mail: EvgeniyBA@Krok.Edu.Ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7397-3132>

### ENERGY SUSTAINABILITY AS A COMPONENT OF UKRAINE'S ECONOMIC SECURITY: POSSIBILITIES OF DISTRIBUTED GENERATION IN WAR CONDITIONS

Yevgeniy Bobrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ScD, professor, KROK University, Kyiv, Ukraine, e-mail: EvgeniyBA@krok.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7397-3132>

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню енергетичної стійкості як ключового чинника економічної безпеки України в умовах воєнних ризиків та масштабних пошкоджень енергетичної інфраструктури. Обґрунтовано, що енергетична стійкість є не лише техніко-інженерною, а насамперед економічною категорією, оскільки рівень недопостачання електроенергії безпосередньо визначає величину втрат для бізнесу, домогосподарств і критичної інфраструктури через механізм Value of Lost Load (VoLL). Запропоновано методичний підхід до оцінювання економіки відключень на основі сценарного аналізу, сегментації споживачів та визначення інтегрального показника очікуваних збитків з урахуванням частоти, тривалості й структури аварійних подій. У роботі систематизовано переваги застосування розподіленої генерації, мікромереж та систем накопичення енергії як інструментів зменшення VoLL-втрат і підвищення живучості енергосистеми. Показано, що портфелі рішень типу сонячні панелі, системи накопичення енергії та резервні генератори істотно скорочують недопостачання електроенергії в критичних сегментах, зменшують часові параметри відновлення та забезпечують позитивний економічний ефект у вигляді чистої приведеної вигоди. У статті також узагальнено стратегічні та регуляторні передумови масштабування децентралізованих рішень, включаючи інтеграцію з ENTSO-E, розвиток ринків гнучкості, впровадження правил роботи мікромереж та формування інституційної моделі управління стійкістю. Зроблено висновок, що впровадження VoLL-орієнтованого підходу до планування інвестицій, поєднане з децентралізацією енергетики та цифровізацією мереж, є оптимальною траєкторією відбудови та підвищення економічної безпеки України у середньостроковій перспективі.

**Ключові слова:** енергетична стійкість, економічна безпека, розподілена генерація, накопичувачі енергії, мікромережі, воєнні ризики, відновлення економіки.

**Формули: 10; рис.: 0; табл.:2; бібл.: 51**

**Abstract.** The article examines energy resilience as a key determinant of Ukraine's economic security under conditions of wartime risks and large-scale destruction of energy infrastructure. It argues that energy resilience is not merely a technical concept but primarily an economic one, since the magnitude of electricity undersupply directly translates into losses for businesses, households, and critical infrastructure via the Value of Lost Load (VoLL) mechanism. The study proposes a methodological framework for assessing the economics of outages based on scenario analysis, consumer segmentation, and the calculation of expected systemic losses considering the frequency, duration, and structure of disruption events. The article systematizes the advantages of distributed generation, microgrids, and battery energy storage systems as tools that reduce VoLL-related losses and enhance the survivability of the power system. It demonstrates that hybrid portfolios – such as PV, BESS and backup generators – significantly reduce unserved energy for critical facilities, shorten recovery times, and generate positive economic effects in the form of net present value (NPV). Furthermore, the study outlines strategic and regulatory prerequisites for the nationwide scaling of decentralized

*solutions, including deeper ENTSO-E integration, the development of flexibility markets, the introduction of microgrid operational rules, and the formation of an institutional framework for resilience governance. It concludes that implementing a VoLL-based investment planning approach, combined with energy decentralization and network digitalization, constitutes an optimal trajectory for Ukraine's post-war recovery and long-term economic security.*

**Keywords:** *energy sustainability, economic security, distributed generation, energy storage, microgrids, military risks, economic recovery.*

**Formulas:** 10; **figures:** 0; **tab.:** 2; **bibl.:** 51

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку економіки України характеризується безпрецедентним поєднанням воєнних, енергетичних та макроекономічних викликів, що суттєво трансформує підходи до забезпечення економічної безпеки держави. Повномасштабна війна призвела до системних пошкоджень об'єктів енергетичної інфраструктури, регулярних порушень енергопостачання та зростання невизначеності функціонування господарських систем на всіх рівнях – від домогосподарств до національної економіки. За таких умов традиційна модель централізованого енергозабезпечення виявила свою обмежену здатність протидіяти тривалим шокам та надзвичайним впливам.

Упродовж тривалого часу в наукових дослідженнях енергетична безпека розглядалася переважно крізь призму надійності постачання паливно-енергетичних ресурсів, диверсифікації джерел та стабільності функціонування енергетичних ринків. Проте воєнні дії в Україні засвідчили, що навіть формально збалансована та інтегрована енергетична система може залишатися вразливою до цілеспрямованих фізичних атак, що породжує значні економічні втрати та загрожує стійкості відтворювальних процесів. У зв'язку з цим у науковий та прикладний дискурс дедалі активніше входить поняття енергетичної стійкості, яке фокусується не лише на запобіганні загрозам, а й на здатності системи адаптуватися, відновлюватися та забезпечувати мінімально необхідний рівень енергопостачання за екстремальних умов.

Особливої актуальності проблема енергетичної стійкості набуває з економічної точки зору, оскільки

порушення енергопостачання має мультиплікативний негативний вплив на валовий внутрішній продукт, зайнятість, фінансову стабільність підприємств та інвестиційну привабливість територій. В умовах війни відключення електроенергії трансформуються з тимчасових технічних збоїв у фактор системного економічного ризику, що потребує перегляду підходів до формування державної та регіональної енергетичної політики.

Одним із ключових напрямів підвищення енергетичної стійкості в сучасних умовах є розвиток розподіленої генерації та впровадження систем накопичення електричної енергії на основі акумуляторів (Battery Energy Storage System, BESS). На відміну від централізованих об'єктів, розподілені енергетичні рішення характеризуються вищою адаптивністю, меншою вразливістю до точкових атак та здатністю забезпечувати локальне енергоживлення критичної інфраструктури, підприємств і громад. Водночас у наукових публікаціях зазначені технології здебільшого аналізуються з позицій енергетичного переходу та декарбонізації, тоді як їх роль у зниженні економічних втрат і забезпеченні стійкості економіки в умовах воєнних ризиків залишається недостатньо дослідженою.

У зв'язку з цим виникає потреба в комплексному економічному осмисленні енергетичної стійкості як складової економічної безпеки держави та визначенні ролі розподіленої генерації і систем накопичення енергії як інструментів мінімізації системних ризиків. Актуальність такого підходу посилюється необхідністю формування ефективної моделі післявоєнного відновлення економіки України, в якій енергетична

система повинна виконувати не лише виробничу, а й стабілізаційну функцію.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз матеріалів Міжнародного енергетичного агентства (IEA) про безпеку «чистих» енергетичних переходів показує динаміку переосмислення ризиків у енергетичній системі, що дедалі більше залежить від електрифікації, цифровізації та критичних мінералів, а також системної гнучкості й багатовимірності загроз. У твердженнях, які висловлюють автори цих матеріалів, можна побачити перехід доказової бази від статичних уявлень про надійність до динамічної економіки ризику, де метою є мінімізація сукупних збитків у циклі «удар-адаптація-відновлення» (IEA, 2021, 2023, 2024, 2025; Greencode Ventures, 2025; Systems With Intelligence, 2025; IRENA, 2024; World Bank; Government of Ukraine; European Commission; United Nations, 2025; UNDP in Ukraine, 2025; ReliefWeb/UNDP, 2025; European Commission/DG ENER, 2025; ENTSO-E, 2025).

Ключовим економічним індикатором став Value of Lost Load (VoLL) — грошова оцінка втрат за 1 МВт·год недопоставленої енергії. Рішення Агентства ЄС зі співробітництва регуляторів енергетики (ACER) формалізувало методологію розрахунку VoLL (сегментація споживачів, урахування тривалості, часу доби/сезону), а звіт Центру аналізу європейської політики (CEPA) узагальнює практики країн ЄС. Критичні огляди Національної лабораторії ім. Лоуренса в Берклі (LBNL) та наукових журналах показують, що VoLL не є сталою «однією цифрою», а контекстно залежною величиною, яка потребує сценарного підходу й поєднання опитувань, виявлення переваг та економічного моделювання (ACER, 2020; CEPA for ACER, 2018; Gorman, W., 2022; Schröder, T., Kuckshinrichs, W., 2015; Carvallo, JP., 2024).

Національні регулятори пропонують прив'язувати операційні метрики (SAIDI/SAIFI, time-to-recovery/restore) до VoLL-монетизації в плануванні стійкості та інвестиційних рішеннях. Це відчиняє шлях

до аналізу чистої приведеної вартості (NPV) портфелів стійкості (замість лише усередненої вартості електроенергії, LCOE), що прямо узгоджується з рекомендаціями Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL) (Leddy, L., et al., 2023; NREL. Nassif, A. B., et al., 2022; NREL & DOE Office of Electricity, 2020; DOE Grid Deployment Office, 2024; NREL. Marqusee, J., et al., 2021; IEEE, PES, Task Force, 2018; CPUC, 2023; Vega Penagos, C.A et al., 2024; IEEE, PES, ITSLC, 2020).

Для України VoLL офіційно не уніфіковано за сегментами, відсутні узгоджені діапазони для критичної інфраструктури, малих та середніх підприємств та домогосподарств — це чисте поле для національних досліджень і регуляторних актів.

Міжнародні дослідження системно доводять, що гібридні мікромережі, які включають сонячні панелі, системи накопичення енергії та мережі дизель-генераторних установок, підвищують острівну надійність, скорочують відключення й часто мають нижчу життєву вартість проти систем тільки на дизельних генераторах (NREL. Nassif, A. B., et al., 2022; NREL & DOE Office of Electricity, 2020; DOE Grid Deployment Office, 2024; NREL. Marqusee, J., et al., 2021). Паралельно Міжнародне енергетичне агентство (IEA) наголошує на ролі систем накопичення енергії у безпечних енергетичних переходах, а Міжнародне агентство з відновлювальної енергетики (IRENA) закликає до нової парадигми енергетичної безпеки у системі відновлювальної енергетики, де децентралізація і технологічна гнучкість є центральними (IEA, 2023, 2024; Greencode Ventures, 2025; Systems With Intelligence, 2025; IRENA, 2024).

Попри значний прогрес у методиках, емпіричних робіт з оцінки чистої приведеної вартості (NPV) з урахуванням життєстійкості в умовах воєнних загроз мало; потрібні українські кейси з реальними даними від операторів і об'єктів критичної інфраструктури.

Публікації дослідних центрів, таких як Центр стратегічних та міжнародних досліджень (CSIS), Фонд Генріха Белля (Heinrich-Böll-Stiftung), Національного інституту стратегічних досліджень (НІСД), Українського інституту майбутнього, Центру Разумкова, DiXi Group консолідує тезу переходу від радянської надцентралізованої системи до мережі локальних мікромереж і розподілених енергоресурсів, спроможних підтримувати критичні послуги під час ударів, а також створювати економічні умови для відбудови та інвестицій (НІСД, 2024; Рощина, І., 2024; UIF, 2025; Разумков центр, 2024; DiXi Group, 2024; Razom We Stand, 2024; CSIS, 2025; The Kyiv Independent, 2024; Energy Sufficiency/EurActiv, 2024).

Наявна міжнародна література забезпечує методичний фундамент: від дефініцій стійкості та визначення VoLL до практик вимірювання «цінності стійкості» й техніко-економічних показників мікромереж (IEA, 2021, 2023, 2024, 2025; Greencode Ventures, 2025; Systems With Intelligence, 2025; IRENA, 2024; World Bank; Government of Ukraine; European Commission; United Nations, 2025; UNDP in Ukraine, 2025; ReliefWeb/UNDP, 2025; European Commission/DG ENER, 2025; ENTSO-E, 2025; ACER, 2020; CEPA for ACER, 2018; Gorman, W., 2022; Schröder, T., Kuckshinrichs, W., 2015; Carvallo, JP., 2024; Leddy, L., et al., 2023; NREL. Nassif, A. B., et al., 2022; NREL & DOE Office of Electricity, 2020; DOE Grid Deployment Office, 2024; NREL. Marqusee, J., et al., 2021; IEEE, PES, Task Force, 2018; CPUC, 2023; Vega Penagos, C.A et al., 2024; IEEE, PES, ITSLC, 2020). Базуючись на існуючих дослідженнях в Україні відбувається практична імплементація заходів. Які забезпечують енергетичну стійкість: децентралізація, мікромережі, системи накопичення енергії, інтеграція з ЄС (Верховна Рада України, 2025; Кабінет Міністрів України, 2024; Міністерство енергетики України, 2025; Міністерство економіки України, 2023–2024; Ministry for Communities&Territories Development of

Ukraine, 2025; НКРЕКП, 2024, 2025, 2026; Державна інспекція енергетичного нагляду України, 2024; Державна служба статистики України, 2024–2025; Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), 2025). Прогалиною лишаються національні діапазони грошової оцінки втрат за недопоставлену енергію (VoLL) та масиви емпіричних даних у воєнних умовах; їх наповнення через пілотні і регуляторні експерименти дасть змогу перейти від риторики до масштабованих інвестицій, обґрунтованих логікою оцінки чистої приведеної вартості (NPV).

### **Формулювання цілей статті.**

Метою статті є кількісно обґрунтувати економічну доцільність переходу від переважно централізованої моделі енергопостачання до моделі енергетичної стійкості на основі розподіленої генерації, мікромереж та систем накопичення енергії в умовах воєнних ризиків України.

В дослідженні були використані наступні методи: 1. Сценарний аналіз порушень енергопостачання (частота/тривалість/сезон) і їхнього впливу на різні сегменти споживачів із подальшим агрегуванням очікуваних збитків; 2. VoLL-підхід для монетизації недопоставленої електроенергії за сегментами споживачів; 3. Техніко-економічне моделювання портфелів, які включають сонячні панелі, системи накопичення енергії та резервні генератори для критичних об'єктів або малих та середніх підприємств; 4. Економічна оцінка проектів (NPV/IRR, дисконтовані грошові потоки, аналіз чутливості за VoLL, ставкою дисконту, CAPEX/OPEX і параметрами відключень); 5. Операційні метрики стійкості (SAIDI/SAIFI, time-to-recovery, time-to-restore service) з прив'язкою до VoLL для переходу від технічних показників до економічних втрат; 6. Політико-регуляторний аналіз для кореляції результатів із дорожніми картами відбудови та інтеграції в ENTSO-E.

Наукова новизна викладеного у статті полягає у: розкритті поняття енергетичної стійкості не лише як

технічної, а як економічної категорії; обґрунтуванні вартості енергетичної нестійкості (економічні втрати від відключень); визначенні ролі розподіленої генерації та системи накопичення енергії, як інструментів зниження макро- та мікроекономічних ризиків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У сучасному науковому дискурсі енергетична стійкість трактується як інтегральна характеристика енергосистеми, що відображає її здатність витримувати, адаптуватися і відновлюватися під впливом екстремальних подій (воєнні дії, кібератаки, стихійні лиха) з мінімально можливими економічними втратами для економічних агентів і суспільства. Цей підхід відрізняє стійкість від класичної енергетичної безпеки (ресурсно-ринкова достатність) і від надійності (виконання стандартів якості в нормальних умовах), акцентуючи на динамічній поведінці системи під час та після шоку (IEEE, PES, ITS LC, 2020; Vega Penagos, C.A et al., 2024).

Визначення, що набуло широкого визнання в інженерній спільноті, підкреслює здатність енергосистеми передбачати, поглинати, адаптуватися та швидко відновлюватися після події (resilience trapezoid/triangle), що доповнює традиційні підходи до надійності.

Уточнюючи визначення енергетичної стійкості держави, сформульоване у дослідженнях Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) і Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL) можемо сформулювати наступне: енергетична стійкість держави – це властивість національної енергетичної системи та пов'язаних із нею ринкових та інституційних механізмів забезпечувати мінімально необхідний рівень енергопостачання для критичної інфраструктури, бізнесу та домогосподарств в умовах екстремальних впливів, обмежуючи сумарні економічні втрати впродовж усього циклу «відхилення – адаптація – відновлення» (IEEE, PES, ITS LC, 2020; Leddy, L. et al., 2023).

Для операціоналізації стійкості пропонується система принципів, які узгоджуються із сучасними підходами Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL) та політикою енергетичної безпеки періоду «зеленого переходу», релевантні українським реаліям:

1.Пріоритет критично необхідного навантаження. Першочергове забезпечення енергоживлення об'єктів охорони здоров'я, водопостачання, зв'язку, оборонно-промислових і логістичних вузлів (орієнтація на життєво необхідні функції) (IEEE, PES, ITS LC, 2020; Leddy, L. et al., 2023).

2.Децентралізація та модульність. Розсосередження генерації і систем накопичення енергії зменшує уразливість до точкових атак і обмежує «радіус руйнування» відмов. Це відповідає світовому тренду на розбудову локальних та мікромережових проєктів (Leddy, L. et al., 2023; NREL&DOE Office of Electricity, 2020).

3.Інтероперабельність та гнучкість. Технічна і регуляторна можливість швидко переходити між режимами роботи (мережовий/острівний), інтегрувати відновлювальні джерела енергії, дизель-генераторні установки і системи накопичення енергії, а також різні джерела фінансування (державні, муніципальні, донорські) (DOE Grid Deployment Office, 2024; NREL&DOE Office of Electricity, 2020).

4.Часова оптимізація відновлення. Мінімізація time-to-recovery та time-to-restore service як домінуючих метрик – через підготовлені сценарії, стандартизовані процедури та резервні рішення (Leddy, L. et al., 2023; CPUC, 2023)

5.Економічна ефективність стійкості. Пріоритет рішень, де вартість стійкості CAPEX (capital expenditure) та OPEX (operating expenses) є нижчою за очікувані дисконтовані втрати від нестійкості (value-based planning) (Leddy, L. et al., 2023; Gorman, W., 2022).

Енергетичну стійкість доцільно вимірювати як економічну категорію через зіставлення вартості енергетичної нестійкості (expected outage costs) та вартості заходів стійкості. У практиці регулювання ЄС роль узагальненого індикатора виконує Value of Lost Load (далі – VoLL)<sup>1</sup>, для якого Агентство ЄС зі співробітництва регуляторів енергетики (ACER) затвердило методику оцінювання (для розрахунку стандартів надійності та адекватності), а сучасні наукові огляди підкреслюють потребу сегментації споживачів, урахування тривалості, повідомлення та контексту перебоїв (ACER, 2020; Carvallo, JP., 2024; Schröder, T., Kuckshinrichs, W., 2015).

Методичний підхід до оцінки економічних показників відключень виглядає наступним чином:

1. Поділ споживачів. Всі споживачі поділяються на три групи: критична інфраструктура; промисловість, малі та середні підприємства; домогосподарства.

2. Сценарії відключень. Для кожного сценарію визначаються: кількість подій на рік ( $\lambda$ ); середня тривалість однієї події ( $d$ ); частка часу року ( $w$ ).

3. Обсяг недопоставленої електроенергії. Для кожної групи споживачів обсяг недопостачання електроенергії розраховується наступним чином:

$$E_{i,s} = P_i \cdot d_s \cdot n_s, \quad n_s = \lambda_s \cdot \omega_s \quad (1)$$

<sup>1</sup> Value of Lost Load (VoLL) – це грошова оцінка втрат від недопоставленої 1 МВт·год електроенергії для певного сегмента споживачів; у регуляторній практиці ЄС VoLL трактується як максимальна ціна (€/МВт·год), яку споживач готовий заплатити, щоб уникнути відключення. Таким чином, VoLL є економічною, а не технічною категорією: вона відображає «вартість надійності» для суспільства і бізнесу, доповнюючи технічні індикатори на кшталт SAIDI/SAIFI. Сучасні підходи наполягають, що VoLL не може бути однією універсальною цифрою: її величина суттєво варіює

де  $P_i$  – критичне навантаження споживача.

4. Розрахунок річних економічних втрат. Збитки визначаються через Value of Lost Load (VoLL):

$$C_{unst} = \sum_i \sum_s p_s \cdot VOLL_i \cdot E_{i,s} \quad (2)$$

де  $p_s$  – імовірність сценарію.

5. Оцінка ефекту проекту стійкості (сонячні панелі + накопичувачі енергії + дизель-генератор):

5.1. Покриття недопостачання електроенергії за рахунок накопичувачів енергії:

$$t_{sup} = \min\left(\frac{E_b}{P_i}, d_s\right) \quad (3)$$

$$E_{i,s}^{BESS} = P_i \cdot t_{sup} \quad (4)$$

5.2. Покриття недопостачання електроенергії за рахунок сонячних панелей (враховується сезонність та денний профіль):

$$E_{i,s}^{PV} = \int_0^{d_s} P_{PV}(t) dt \quad (5)$$

5.3. Покриття недопостачання електроенергії за рахунок дизель-генератора:

$$E_{i,s}^{DG} = P_{DG} \cdot (d_s - t_{sup} - t_{PV}) + \quad (6)$$

5.4. Залишкове недопостачання електроенергії після роботи сонячних

за типами споживачів, тривалістю та часом відключення, сезоном і навіть соціально економічним контекстом (критична інфраструктура; промисловість, малі та середні підприємства; домогосподарства), враховуючи нелінійність втрат за тривалістю й попередженістю, а також пікові інтервали попиту. Для України воєнний контекст підвищує VoLL через зростання системних і соціальних ризиків від відключень, що підтверджується аналітичними оцінками ІЕА щодо небаченої інтенсивності ударів і супутніх дефіцитів.

панелей, накопичувачів енергії та дизель-генератора:

$$E'_{i,s} = \max\{0, E_{i,s} - E_{i,s}^{BESS} - E_{i,s}^{PV} - E_{i,s}^{DG}\} \quad (7)$$

6. Розрахунок збитків, яких вдалося уникнути:

$$\Delta C_{unst} = \sum_{i,s} p_s \cdot VOLL_i (E_{i,s} - E'_{i,s}) \quad (8)$$

7. Вартість проекту:

$$C_{res} = CAPEX + \sum_{t=1}^T \frac{OPEX_t + Repl_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

8. Економічний ефект:

$$NPV_{res} = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta C_{unst,t}}{(1+r)^t} - C_{res} \quad (10)$$

Проект вважається доцільним, якщо  $NPV > 0$ .

Для прикладних досліджень використовуються такі групи метрик як часові (TTR, TRS), експлуатаційні (SAIDI/SAIFI у шоківих умовах), та фінансові (оцінки чистої приведеної вартості (NPV) стійкості = PV (зменшення VoLL-втрат) – PV(витрат на стійкість) (Leddy, L. et al., 2023).

У формуванні енергетичної стійкості розподілена генерація та системи накопичення енергії виконують три ключові економічні функції під час перебоїв із постачанням:

1. Заміщення простою (локальне живлення критичних об'єктів).

2. Зниження варіабельності збитків (ефект «подушки безпеки»).

3. Підвищення інвестиційної привабливості територій через передбачуваність умов ведення бізнесу.

Це відповідає прикладам у міжнародній практиці і висновкам аналітиків Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL), Міністерства енергетики США (DOE) та спеціальним звітам Міжнародного енергетичного агентства (IEA) та Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики (IRENA) щодо

переходу до системи з високою часткою відновлювальних джерел енергії і накопичення (NREL&DOE Office of Electricity, 2020; DOE Grid Deployment Office, 2024; IEA, 2024; IRENA, 2024).

Також приклади сучасної економіки показують, що гібридні мікромережі з сонячними панелями, системами накопичення енергії та дизель-генераторами забезпечують вищу надійність в острівному режимі та нижчу приведену вартість життєвого циклу, якщо порівнювати їх із системами які мають тільки дизель-генератори (NREL. Marqusee, J., et al., 2021; NREL. Nassif, A. B., et al., 2022).

Енергетична стійкість має виразний інституційний вимір. Тут необхідно зважати на:

1. Правила для мікромереж/острівного режиму й швидкі процедури приєднання.

2. Цінові сигнали (послуги гнучкості/резерву, компенсація за послуги стійкості).

3. Фінансові інструменти (муніципальні облигації, грантово-кредитні лінії, страхування перебоїв).

4. Координацію систем передачі енергії (TSO/DSO), громад, виробників та споживачів (prosumer).

В ЄС курс на підвищення гнучкості та застосування технології інверторного керування, яка дозволяє відновлюваним джерелам енергії, системам накопичення енергії та вітровим турбінам активно формувати параметри електромережі (напругу та частоту), імітуючи роботу традиційних синхронних генераторів (grid-forming) показує, що такий напрям розбудови енергетичної системи веде до її операційної живучості (ENTSO-E, 2025; European Commission/DG ENER (з посиланням на ENTSO-E), 2025).

В Україні інституційний блок спирається на законодавство про критичну інфраструктуру та практики забезпечення безперервності базових послуг у воєнних умовах, що фіксує досвід 2022–2024 років (НІСД, 2024).

Події, що відбуваються в українському енергетичному секторі, мають аналізуватися на основі трьох фаз:

1.Шок (атака/аварія/дефіцит): первинний удар по генерації/мережі, що призводить до миттєвих втрат (зупинки виробництва, порушення логістики). Як приклад – інтенсивність атак на енергетику України досягала безпрецедентних масштабів, що спричиняє дефіцити й відключення.

2.Адаптація (години/доба): активація локальних потужностей розподіленої генерації, острівний режим мікромереж, застосування накопичувачів енергії, що веде до обмеження приросту збитків (економічний «буфер» стійкості).

3.Відновлення (доби/тижні): ремонт/перепідключення, повернення до штатних режимів, які ведуть до скорочення кумулятивних втрат.

З воєнно-економічної перспективи важливо враховувати обсяг прямих пошкоджень енергетики та масштаби потреб у відбудові (Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4)), що визначають вихідні умови для формування портфелю стійких інвестицій (World Bank; Government of Ukraine; European Commission; United Nations (UNDP, техн. лід), 2025; ReliefWeb/UNDP, 2025).

Повномасштабна війна спричинила системні пошкодження енергетичної інфраструктури, що перетворило перебої електропостачання на фактор макро- та мікроекономічного ризику з довгим «хвостом» наслідків для виробництва, зайнятості та добробуту домогосподарств. За оновленою оцінкою RDNA4 (станом на 31.12.2024), потреби відбудови України сягають 524 млрд дол. США на десятиріччя, а прямі пошкодження – 176 млрд дол. США, при цьому енергетика демонструє різке зростання частки зруйнованих/пошкоджених активів у порівнянні з попередньою оцінкою (World Bank; Government of Ukraine; European

Commission; United Nations (UNDP, техн. лід), 2025).

За оцінкою експертів, інтенсивність ударів по енергосектору є безпрецедентною, що призвело до дефіцитів потужності та масових відключень, підвищивши вразливість економіки до сезонних ризиків та «вузьких місць» у мережі.

Для цільового управління ризиком доцільно розкласти збитки від порушень енергопостачання на чотири групи, із застосуванням концепту VoLL та сучасних практик value-based planning:

1.Прямі виробничі втрати (втрати випуску, псування продукції, простій обладнання);

2.Фінансові втрати бізнесу (штрафи/невиконані контракти, додаткові витрати на аварійне живлення);

3.Втрати домогосподарств (зниження споживання послуг, витрати на автономні джерела);

4.Соціальні/суспільні втрати (припинення роботи критичної інфраструктури, негативні мультиплікатори для локальних економік).

Наведена структуризація збитків відповідає підходам Агентства ЄС зі співробітництва регуляторів енергетики (ACER) до VoLL та аналітичним оглядам Національної лабораторії ім. Лоуренса в Берклі (LBNL) щодо оцінювання «вартості перерви» (outage cost) (Vega Penagos, C.A et al., 2024; Greencode Ventures, 2025; Systems With Intelligence, 2025).

Офіційних даних діапазона втрат від недопоставленої 1 МВт·год електроенергії для певного сегмента споживачів (VoLL) для України немає. В таблиці 1 наводяться дані на основі Рішення № 23/2020 щодо Методології розрахунку вартості втрат навантаження (VoLL), вартості нових учасників ринку та стандарту надійності та Дослідження щодо оцінки вартості втрат навантаження електропостачання в Європі (ACER, 2020; CEPA, 2018; Gorman, 2022).

Таблиця 1

**Діапазони економічних втрат (VoLL) від недопоставлення 1 МВт·год електроенергії за сегментами споживачів**

Сегмент	Орієнтовний діапазон втрат від недопоставленої 1 МВт·год електроенергії для певного сегмента споживачів (VoLL), €/МВт·год	Коментар
Критична інфраструктура	10 000 – 30 000	Висока вартість перерв; стаціонарні/життєво важливі послуги
Промисловість (безперервні процеси)	5 000 – 15 000	Контрактні штрафи, псування продукції
Малі та середні підприємства/послуги	3 000 – 10 000	Втрата виручки, простої
Домогосподарства	1 000 – 5 000	Соціальні/побутові втрати, сезонність

Джерело: сформовано автором на основі даних ACER, 2020; CEPA, 2018; Gorman, 2022

На основі наведеного вище лікарні, яка має 150 кВт критичного оціночного діапазона продемонструємо в навантаження. таблиці 2 порівняльний розрахунок для

Таблиця 2

**Порівняння ключових техніко-економічних показників до та після реалізації проєкту**

Показник	Базова лінія	Після реалізації проєкту: сонячні панелі (100 кВт) + накопичувачі енергії (300 кВт·год) + дизель-генератор (200 кВт)
Недопостачання електроенергії, МВт·год/рік	17,7	0,5
VoLL, €/МВт·год	-	10 000
Уникнені збитки, €/рік	-	≈ 172 000
CAPEX (з інсталяцією), €	-	≈ 356 500
OPEX, €/рік	-	10 000
NPV (10 років, 12%), €	-	≈ 519 800
Проста окупність, років	-	≈ 3

Наведений розрахунок підтверджують NREL (valuation of resilience) та ACER (VoLL).

Джерело: сформовано автором на основі Leddy, L., et al., 2023; NREL. Nassif, A. B., et al., 2022; IEA, 2024; World Bank; Government of Ukraine; European Commission; United Nations, 2025; UNDP in Ukraine, 2025; ReliefWeb/UNDP, 2025

Наведені в таблиці дані показують, що при середньому відключенні у 118 годин на рік лікарня не отримує 17,7 МВт·год електроенергії. Встановлення сонячних панелей, накопичувачів енергії та дизель-генератора на 97% скорочує збої у

постачанні електроенергії. В попередній таблиці ми встановили, що орієнтовний діапазон втрат від недопоставленої 1 МВт·год електроенергії для об'єкта критичної інфраструктури становить від 10 до 30 тисяч €/МВт·год. Розраховуючи по

нижній границі у 10 тисяч євро, ми мінімізуємо збитки у розмірі 172 тисячі євро. Разові інвестиції в обладнання становлять 356,5 тисяч євро, щорічні витрати на обслуговування, тестові запуски дизель-генератора, моніторинг, заміну дрібних вузлів тощо становлять 10 тисяч євро. Чиста приведена вартість за 10 років при ставці дисконту 12% становить 519,8 тисяч євро (дисконтовані збитки, яких вдалося уникнути переважають CAPEX та OPEX (з урахуванням планових замін/ремонтів у життєвому циклі), таким чином проєкт є економічно доцільним. Приблизно за три роки проєкт окупує початкові інвестиції.

Воєнний контекст посилює нелінійність збитків: короткі, але часті відключення можуть завдавати сукупних втрат, співмірних із тривалими, якщо вони збігаються з «вузловими» годинами виробничих циклів або піковими інтервалами попиту. Це підтверджується літературними джерелами щодо сегментації VoLL за тривалістю, попередженням споживачів та часовим профілем (Greencode Ventures, 2025; Systems With Intelligence, 2025).

Формування моделі стійкості перестає бути суто енергетичним завданням й набуває статусу елемента національної безпеки та економічної стабільності, що впливає на гуманітарну ситуацію, промислове відновлення та інвестиційну привабливість.

На основі дорожньої карти, яку розробило Міжнародне енергетичне агентство (IEA) «Empowering Ukraine through a Decentralised Electricity System» (2024), рекомендацій щодо енергетичної безпеки, а також пріоритетів RDNA4, можна виокремити такі структурні напрями політики:

### 1. Масштабування

децентралізованих енергетичних рішень та мікромереж. Міжнародне енергетичне агентство (IEA) визначає розподілені енергетичні ресурси – сонячні панелі, системи накопичення енергії, малі газові турбіни, локальні відновлювальні джерела енергії – як основну стратегію відновлення

енергетичного сектору, здатну зменшити вразливість системи та покрити прогнозований зимовий дефіцит. Паралельно з цим існуючі приклади в Україні демонструють життєздатність мікромереж, які спроможні автономно підтримувати роботу цілих районів. В цьому напрямку держава має законодавчо закріпити статус мікромереж і режим їх роботи «острів/мережа», спростити процедури приєднання розподілених енергетичних ресурсів до мереж та створення «швидких треків» для критичної інфраструктури, створити державну програму стійких об'єктів критичної інфраструктури (лікарні, водоканали, тепlopункти) (IEA, 2024; Razom We Stand, 2024).

2. Цільові інвестиції у захищену генерацію та резервні потужності. Міжнародне енергетичне агентство (IEA) наголошує на необхідності відновлення генерації, посиленої захистом, та термінового розгортання автономних модульних потужностей (газові турбіни, мобільні генераційні комплекси) у регіонах ризику. RDNA4 визначає енергетику серед дев'яти пріоритетних секторів відбудови. Тут можуть бути запропоновані державні програми співінвестування у модульні газові турбіни (5–100 МВт) для покриття піків, реалізація концепції стійких енергетичних хабів у містах з високими ризиками, обов'язкове включення технічних вимог з кібер- та фізичного захисту у всі проєкти відбудови енергетики (IEA, 2025; Ministry for Communities & Territories Development of Ukraine, 2025; The Kyiv Independent, 2024).

3. Інтеграція з ЄС та підсилення міждержавних перетоків. З лютого 2022 року українська енергосистема працює синхронно з ENTSO-E, а потенціал імпорту/експорту поступово збільшується (2025 рік – 1,7 ГВт на експорт та 650 МВт на імпорт). Міжнародне енергетичне агентство (IEA) рекомендує Україні і партнерам прискорити збільшення пропускної здатності інтерконекторів та продовжувати інтеграцію у європейський ринок енергоресурсів для зменшення

ризиків зимових дефіцитів. В цьому напрямку пропонується залучення стратегічних інвестицій у посилення транскордонних ліній, зокрема на заході України, участь у європейських ринках резервів та гнучкості (balancing capacity), створення механізму «зимових контрактів солідарності» між Україною та країнами ЄС (The Kyiv Independent, 2024).

4. Реформи ринку електроенергії та розвиток гнучкості. Аналітичні центри стратегічних та міжнародних досліджень (CSIS) та Міжнародного енергетичного агентства (IEA) підкреслюють, що подальша децентралізація неможлива без оновлення моделі ринку: інвестори не заходять у регіони ризику без гарантованих правил гри та пропорційних стимулів. Необхідними заходами мають стати запровадження ринків допоміжних послуг для систем накопичення енергії та розподілених енергетичних ресурсів (frequency response, fast reserve), фінансові стимули для мікромережних проєктів малого та середнього підприємства (комунальні гарантії, кредити ЄБРР, USAID), запровадження регуляторного sandbox для інтелектуальних систем управління навантаженням та гібридних мікромереж (CSIS, 2025).

Слід підкреслити, що стійкість неможлива без інтегрованої міжвідомчої координації, з чітким розподілом повноважень між Міненерго, Мінрегіоном, НКРЕКП, громадами та операторами мереж, а також аналітичної узгодженості, для чого створені цифрові інструменти системи управління публічними інвестиціями (DREAM/PPP) та реєстри пошкоджень (IEA, 2025; Ministry for Communities & Territories Development of Ukraine, 2025).

Необхідними заходами в цьому напрямку мають стати створення Національного центру стійкості енергосистеми (аналог NERC у США), локальних енергетичних офісів громад зі статусом замовника мікромережних проєктів, стандартизованих міських планів енергетичної стійкості. Для того щоб закрити інвестиційний розрив, який

оцінюється приблизно у 10 млрд дол. США, необхідно мобілізувати приватний капітал через такі фінансові інструменти, як цільові «Resilience Bonds» для муніципалітетів та державно-приватних партнерств; кредитні гарантії ЄС/США для проєктів систем накопичення енергії, газових турбін і мікромереж; фонди відбудови критичної інфраструктури (аналог Energy Resilience Fund); податкові стимули для бізнесу, який інвестує у власну розподілену генерацію.

Таким чином, впровадження моделі енергетичної стійкості в Україні має ґрунтуватися на трьох ключових опорах:

1. Децентралізація та мікромережі як основний спосіб зменшення ризиків та VoLL-втрат.

2. Інтеграція з ЄС та операційна модернізація мереж, зокрема розвиток гнучкості та grid-forming технологій.

3. Інституційна координація та мобілізація інвестицій, спираючись на RDNA4, міжнародних партнерів та дерегуляцію.

Ці напрями не ізольовані: вони формують єдину систему стійкості, у якій енергетика стає основою економічної та соціальної безпеки країни.

Поточна ситуація по створенню розподіленої генерації в країні виглядає наступним чином (Корф, Є., 2026):

1. У 2025 комунальні підприємства, приватні та державні компанії ввели 762 МВт нової газової генерації; домогосподарства та бізнес масово встановлювали СЕС і когенерацію; громади споруджували тепломодулі та резервні котельні. Уряд частково лібералізував дозвільні процедури та дозволив операторам систем розподілу орендувати державне енергетичне обладнання без аукціонів, відновив перевірки Держенергонагляду, для того щоб знижувати аварійність.

2. За 2025 рік в експлуатацію було введено 534 МВт нових потужностей систем зберігання енергії – їх заряджання відбувається у години низьких цін або від власних сонячних електростанцій, а видача енергії у мережу – у пікові години споживання. Системи управління цими

накопичувачами (Energy Management System) прогнозують ціни, стан мережі, доступність генерації і приймають рішення про заряд/розряд автоматично. До кінця 2026 року планується встановити ще мінімум від 40 до 160 МВт·год систем зберігання енергії.

3. На вітроенергетичному напрямку протягом 2025 року спостерігалось поживалення – портфель нових інвестиційних проєктів вже налічує понад 4,5 ГВт потужностей: добудовується ВЕС у Миколаївській області (загальна потужність сягне 500 МВт), фіналізується проєкт ВЕС у Полтавській області на 600–650 МВт. Для енергодефіцитних регіонів це реальна спроможність підтримувати навантаження.

4. Інвестори очікують на лібералізацію бюрократичних процедур – введення страхування воєнних ризиків, прогнозовану модель довгострокового викупу електроенергії та розв’язання боргів на балансуєчому ринку. На сьогодні головними стримуючими чинниками залишаються боргова яма на балансуєчому ринку та затримки імплементації правил.

У 2025 році енергетична система України встояла завдяки атомній генерації, проведеним тисячам ремонтів, донорській допомозі й імplementованим рішенням розподіленої генерації.

**Висновки.** Енергетична стійкість – це не лише технічна властивість, а економічна стратегія мінімізації втрат і прискореного відновлення; у поточних умовах України її ядром виступають розподілена генерація, системи накопичення енергії та мікромережі, підкріплені відповідними регуляторними та фінансовими інструментами (у т.ч. в логіці післявоєнної відбудови). Запропонований в роботі підхід трактує стійкість як економічну категорію, яку слід вимірювати через зменшення VoLL-втрат від недопостачання електроенергії та скорочення часу на відновлення (time-to-recovery/restore). Це узгоджується з підходами Агентства ЄС зі співробітництва регуляторів енергетики (ACER) до VoLL (методика оцінювання для стандартів

надійності) і аналітичними оглядами Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL) щодо монетизації вигод від стійкості (resilience benefits).

Децентралізація енергетики – це базовий шлях швидкого зниження системних ризиків. В умовах безпрецедентних пошкоджень генерації та мереж і прогнозованих зимових дефіцитів, розподілені енергетичні ресурси, малі модульні потужності та мікромережі формують найкоротший маршрут до підвищення живучості енергосистеми.

Проєкти розподіленої генерації, систем накопичення енергії та мікромереж забезпечують вимірюваний економічний ефект ( $NPV > 0$ ) у критичних сегментах. Гібридні рішення з сонячних панелей, накопичувачів енергії та дизель-генераторних установок з мікромережевим керуванням здатні покривати «критичне навантаження» під час відключень, істотно зменшуючи недопостачання та амплітуду збитків. Техніко-економічні праці Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL) показують, що у низці сценаріїв гібридні мікромережі мають нижчу життєву вартість і вищу острівну надійність, ніж тільки дизельні системи, а методики Національної лабораторії з вивчення відновлювальної енергетики (NREL) дозволяють коректно монетизувати уникнені збитки від простою (outage-costs).

Український контекст потребує невідкладних дій і системної координації. Оцінка RDNA4 фіксує масштаб збитків і підтверджує: сектор енергетики – серед топ-пріоритетів відбудови, однак наявний дефіцит фінансування вимагає мобілізації приватного капіталу й швидких рішень на політичному рівні. Рекомендації Міжнародного енергетичного агентства (IEA) підкреслюють необхідність захисту критичної інфраструктури, прискорення постачань обладнання, нарощування можливостей імпорту/експорту з ЄС і підготовки резервних опцій тепlopостачання.

Інтеграція з ЄС і розвиток ринків гнучкості підвищують ефект стійкості. Подальше збільшення пропускної здатності інтерконекторів з ENTSO-E, участь у європейських ринках резервів та балансування, розгортання сервісів гнучкості (frequency response, fast reserve), де накопичувачі енергії вже є ключовим інструментом, формують зовнішній «амортизатор» для пікових ризиків і внутрішній механізм окупності інвестицій у стійкість. Це – наскрізна рекомендація Міжнародного енергетичного агентства (IEA) в аналізах енергетичної безпеки України.

Нормативно-інституційна база – це критичний «вузол» для масштабування. Потрібне юридичне закріплення статусу мікромереж (режим «острів/мережа»), спрощені процедури приєднання розподілених енергетичних ресурсів, стандарти безпеки (фізичної та кібер), а також інституційна координація (національний центр стійкості енергосистеми, муніципальні енергетичні офіси для підготовки та управління портфелями). Такі кроки відповідають практичним рекомендаціям Міжнародного енергетичного агентства (IEA) та логіці інструментів RDNA4 (DREAM/PPP) для відбору стійких інвестиційних проєктів.

Синергія децентралізації, ринків гнучкості, інтеграції з ЄС та VoLL-орієнтованого планування створює реалістичний напрямок розвитку, за яким Україна здатна суттєво зменшити економічні втрати від відключень, пройти опалювальні сезони без критичних провалів і водночас інвестувати у «чистішу» та конкурентну енергетику відбудови. Це – економічно виправдана стратегія національної безпеки у співзвуччі з рекомендаціями Міжнародного енергетичного агентства (IEA) та пріоритетами RDNA4.

Подальші наукові роботи доцільно спрямувати у кілька взаємодоповнюючих напрямів. По-перше, актуальним завданням є створення національної калібровки показника VoLL для України. Для цього необхідно визначити значення VoLL

окремо для критичної інфраструктури, промисловості та малих і середніх підприємств, а також домогосподарств, спираючись на репрезентативні опитування, аналіз фактичної поведінки споживачів в умовах відключень та статистику операторів систем передачі і розподілу. Отримані показники мають бути узгоджені з європейськими методиками ACER, що дозволить використовувати їх у державній політиці й інвестиційних рішеннях.

По-друге, важливо розгорнути пілотні проєкти мікромереж із систематичним збором даних «до/після» для ключових об'єктів – лікарень, водоканалів, теплових пунктів, «кампусів» малого й середнього бізнесу. Опрацювання таких кейсів дозволить формувати достовірні показники SAIDI/SAIFI, TTR/TRS, обсягів недопоставленої енергії та економії від портфелів рішень, що підвищить точність NPV-оцінок для різних сценаріїв.

По-третє, потребує розвитку аналітика ринків гнучкості та їхнього впливу на економіку проєктів. Подальші дослідження мають включати моделювання різних форматів продуктів гнучкості, багаторічних контрактів, участі розподілених джерел енергії та систем накопичення енергії у балансуванні та оцінку того, як такі механізми скорочують строк окупності мікромережових рішень.

По-четверте, доцільним є створення та апробація регуляторного sandbox-режиму для мікромереж, у якому можна тестувати правила переходу в острівний режим, роботу grid-forming інверторів і механізми винагороди за «послуги стійкості». Це дозволить швидко адаптувати регуляторне поле до нових технологій та зменшити бар'єри для інвестицій.

По-п'яте, перспективним напрямом є інтеграція фізичних та кібер-ризиків у моделі стійкості енергосистеми. Аналіз комбінованих сценаріїв – ракетних атак, кібервпливів, руйнування мережевого обладнання – дозволить точніше оцінити сукупні економічні втрати й оптимізувати

резервування, захисні заходи та інвестиції у цифрову інфраструктуру.

Узагальнюючи, зазначимо, що реалізація означених напрямів сприятиме формуванню методично обґрунтованої

**Конфлікт інтересів.** Автор заявляє, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які могли б бути витлумачені як потенційний конфлікт інтересів.

**Фінансування.** Автор заявляє, що окремого фінансування на публікацію цієї статті не отримували. Дослідження виконано в межах професійної діяльності автора в університеті.

**Етична заява.** Усі процедури, виконані в межах цього дослідження, відповідали інституційним та міжнародним етичним стандартам.

**Заява щодо генеративного ШІ.** Автор заявляє, що генеративний штучний інтелект не використовувався під час підготовки цього рукопису.

### Література:

1. International Energy Agency (IEA). (2024). *Empowering Ukraine through a Decentralised Electricity System: A roadmap for increased use of DERs towards 2030*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/empowering-ukraine-through-a-decentralised-electricity-system>
2. International Energy Agency (IEA). (2024, September 19). *Ukraine's Energy Security and the Coming Winter: An energy action plan for Ukraine and its partners*. Paris: IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cec49dc2-7d04-442f-92aa-54c18e6f51d6/UkrainesEnergySecurityandtheComingWinter.pdf>
3. International Energy Agency (IEA). (2025, October 22). *Ukraine's Energy Security: A pre-winter assessment*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security>
4. International Energy Agency (IEA). (2021). *Security of Clean Energy Transitions*. Paris: IEA. (WEO Special Report). <https://www.iea.org/reports/security-of-clean-energy-transitions>
5. International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023* (в аспектах енергобезпеки та системної гнучкості). <https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-02/004.%20IEA%20World%20Energy%20Outlook%202023.pdf>
6. International Energy Agency (IEA). (2024). *Batteries and Secure Energy Transitions*. World Energy Outlook Special Report. <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>
7. Greencode Ventures (2025, April 18<sup>th</sup>). *The BESS Revolution: How Battery Storage Is Transforming Energy Markets*. <https://greencode.vc/insights/bess-revolution>
8. Systems With Intelligence (2025 June 30<sup>th</sup>). *The Economics of Renewable Integration: How BESS Improves Grid Stability*. <https://systemswithintelligence.com/blog/the-economics-of-renewable-integration-how-bess-improves-grid-stability>
9. International Energy Agency (IEA). (2024–2025). *Оперативні аналітичні повідомлення щодо енергобезпеки України (Executive summary; pre-winter)*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter/executive-summary>
10. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024, Apr. 17). *Transition to renewables calls for new approach to energy security* (прес-реліз до аналітичного звіту). <https://www.irena.org/News/pressreleases/2024/Apr/Transition-to-Renewables-Calls-for-New-Approach-to-Energy-Security>
11. World Bank; Government of Ukraine; European Commission; United Nations (UNDP, техн. лід). (2025, Feb. 25). *Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): Feb 2022 – Dec 2024* (прес-реліз та матеріали). <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>
12. UNDP in Ukraine. (2025, Feb. 25). *Updated damage assessment finds \$524 billion needed for recovery in Ukraine over next decade (RDNA4)*. <https://www.undp.org/ukraine/press-releases/updated-damage-assessment-finds-524-billion-needed-recovery-ukraine-over-next-decade>
13. ReliefWeb/UNDP. (2025, Feb. 25). *Ukraine – Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): February 2022 – December 2024*. <https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english>
14. European Commission / DG ENER (з посиланням на ENTSO-E). (2025, May 28). *Commission welcomes ENTSO-E Summer Outlook 2025 (adequacy; interconnections incl. UA/Moldova)*. [https://energy.ec.europa.eu/news/commission-welcomes-report-electricity-transmission-system-operators-confirming-eu-preparedness-2025-05-28\\_en](https://energy.ec.europa.eu/news/commission-welcomes-report-electricity-transmission-system-operators-confirming-eu-preparedness-2025-05-28_en)
15. European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) (2025, August) *European Grids Package: ENTSO-E Recommendations. Simplify the legislative framework and ensure timely development of critical electricity infrastructure*. <https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Publications/Position%20papers%20and%2>

- Oreports/2025/WEB\_ENTSO-E\_AP\_European\_Grids\_Package\_250909.pdf
16. Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER). (2020, Oct. 2). *Decision No. 23/2020 on the Methodology for calculating the value of lost load (VoLL), the cost of new entry, and the reliability standard* (Annex I). [https://acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Decisions\\_annex/ACER%20Decision%2023-2020%20on%20VOLL%20CONE%20RS%20-20Annex%20I.pdf](https://acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Decisions_annex/ACER%20Decision%2023-2020%20on%20VOLL%20CONE%20RS%20-20Annex%20I.pdf)
17. CEPA (Cambridge Economic Policy Associates) for ACER. (2018, July). *Study on the Estimation of the Value of Lost Load of Electricity Supply in Europe*. [https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/en/Electricity/Infrastructure\\_and\\_network%20development/Infrastructure/Documents/CEPA%20study%20on%20the%20Value%20of%20Lost%20Load%20in%20the%20electricity%20supply.pdf](https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/en/Electricity/Infrastructure_and_network%20development/Infrastructure/Documents/CEPA%20study%20on%20the%20Value%20of%20Lost%20Load%20in%20the%20electricity%20supply.pdf)
18. Gorman, W. (2022). *The quest to quantify the value of lost load: A critical review of the economics of power outages*. *The Electricity Journal*, 35, 107187. (препринт/доступ) [https://www.researchgate.net/publication/363397202\\_The\\_quest\\_to\\_quantify\\_the\\_value\\_of\\_lost\\_load\\_A\\_critical\\_review\\_of\\_the\\_economics\\_of\\_power\\_outages](https://www.researchgate.net/publication/363397202_The_quest_to_quantify_the_value_of_lost_load_A_critical_review_of_the_economics_of_power_outages)
19. Schröder, T., Kuckshinrichs, W. (2015). *Value of Lost Load: An efficient economic indicator for power supply security?* *Frontiers in Energy Research*, 3, 55. <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2015.00055/full>
20. Carvallo, JP. (2024 September 27th) *The Value of Lost Load. Concepts, methods, and applications*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Presentation to Energy Regional States Committee Working Group. <https://cdn.misoenergy.org/20240927%20ERSC%20WG%20Item%2003%20The%20Value%20of%20Lost%20Load649514.pdf>
21. Leddy, L., Jenket, D., Thomas, D.-M., Ericson, S., Cox, J., Grue, N., Hotchkiss, E. (2023, Aug.). *Measuring and Valuing Resilience: A Literature Review for the Power Sector*. NREL/TP-5R00-87053. <https://docs.nrel.gov/docs/fy23osti/87053.pdf>
22. NREL. Nassif, A. B., Ericson, S., Abbey, C., Jeffers, R., Hotchkiss, E., & Bahramirad, S. (2022). *Valuing resilience benefits of microgrids for an interconnected island distribution system*. *Electronics*, 11(24), 4206. <https://docs.nrel.gov/docs/fy23osti/85175.pdf>
23. NREL & DOE Office of Electricity. (2020). *Voices of Experience: Microgrids for Resiliency*. NREL/BK-7A40-75909. <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/75909.pdf>
24. DOE Grid Deployment Office. (2024, Jan.). *Microgrid Overview (BIL §40101(d) Guidance)*. [https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-02/46060\\_DOE\\_GDO\\_Microgrid\\_Overview\\_Fact\\_Sheet\\_RELEASE\\_508.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-02/46060_DOE_GDO_Microgrid_Overview_Fact_Sheet_RELEASE_508.pdf)
25. NREL. Marqusee, J., Becker, W., & Ericson, S. (2021). *Resilience and economics of microgrids with PV, battery storage, and networked diesel generators*. *Advances in Applied Energy*. 3 (2021) 100049. <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/78837.pdf>
26. IEEE, PES, Task Force. (2018). *The Definition and Quantification of Resilience. Technical Report (PES-TR65, excerpts)*. <https://grouper.ieee.org/groups/transformers/subcommittees/distr/C57.167/F18-Definition&QuantificationOfResilience.pdf>
27. CPUC (California Public Utilities Commission). (2023). *Resiliency Standards: Metrics (Workshop materials)*. <https://www.cpuc.ca.gov/-/media/cpuc-website/divisions/energy-division/documents/resiliency-and-microgrids/resiliency-and-microgrids-events-and-materials/lumen20230905resiliency-metricsfinal-preworkshop.pdf>
28. Vega Penagos, C.A.; Diaz, J.L.; Rodriguez-Martinez, O.F.; Andrade, F.; Luna, A.C. (2024) *Metrics and Strategies Used in Power Grid Resilience*. *Energies*, 17 (1), 168. <https://doi.org/10.3390/en17010168>
29. IEEE, PES, ITSLC (2020). *Resilience Framework, Methods, and Metrics for the Electricity Sector. Technical Report (PES-TR83, excerpts)*. [https://resourcecenter.ieee.org/publications/technical-reports/pes\\_tp\\_tr83\\_itslc\\_102920#](https://resourcecenter.ieee.org/publications/technical-reports/pes_tp_tr83_itslc_102920#)
30. Національний інститут стратегічних досліджень (НІСД). (2024, 29 травня). *Стійкість критичної енергетичної інфраструктури та життєдіяльність громад: аналітична доповідь*. <https://niss.gov.ua/publikatsiyi/analychni-dopovidi/stiykist-krytychnoyi-enerhetychnoyi-infrastruktury-ta>
31. Рощина, І. О. (2024). *Захист критичної інфраструктури як складова національної безпеки України*. Київський часопис права, №3, 224–228.
32. Український інститут майбутнього (UIF). (2025). *Енергетичний дайджест — грудень 2024: атаки на енергосистему, імпорт/експорт, ситуація у генерації*. <https://uifuture.org/publications/rozvytok-energetyky-ukrayiny/>
33. Разумков центр. (2024, 1 жовтня). *Омельченко В. Енергетика України 2024–2025 років у тумані невизначеності*. <https://razumkov.org.ua/statti/energetyka-ukrainy-20242025-rokiv-u-tumani-nevyznachenosti>
34. DiXi Group. (2024, 6 грудня). *Ukrainian Energy Security Dialogue 2024: ключові виклики, рішення та перспективи стійкості*. <https://dixigroup.org/ukrainian-energy-security-dialogue-2024-golovni-vyklyky-rishennya-ta-perspektyvy-energetychnoyi-bezpeky-ukrayiny/>
35. Razom We Stand. (2024, Oct. 7). *Decentralizing Ukraine's energy future: Microgrids as a path to independence*. <https://energytransition.org/2024/10/decentralizing-ukraines-energy-future-microgrids-as-a-path-to-independence/>
36. CSIS (Center for Strategic & International Studies). (2025, July 2). *Bandura, R., Romanishyn, A. Striving for Access, Security, and Sustainability: Ukraine's transition to a modern and decentralized energy system*. <https://www.csis.org/analysis/striving-access-security-and-sustainability>

37. The Kyiv Independent. (2024, Sept. 19). *IEA recommends 10 steps for Ukraine's energy security*. <https://kyivindependent.com/iea-recommends-10-steps-for-ukraine/>
38. Energy Sufficiency/EurActiv. (2024, Sept. 19). *EU and IEA launch energy plan to get Ukraine through the winter*. <https://www.energysufficiency.org/news/news/eu-and-iea-launch-energy-plan-to-get-ukraine-through-the-winter/>
39. Верховна Рада України. (2025). *Проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії (щодо вдосконалення конкурентних умов виробництва енергії з ВДЕ. 16.02.2026 переданий на підпис Президенту України)*. <https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/56245>
40. Кабінет Міністрів України. (2024, 27 червня). *Уряд затвердив Національний план з енергетики та клімату до 2030 року (НПЕК). Урядовий кур'єр*. <https://ukurier.gov.ua/uk/news/uryad-zatverdiv-nacionalnij-plan-z-energetiki-ta-k/>
41. Кабінет Міністрів України. (2024, 28 травня). *Перелік об'єктів критичної інфраструктури, яким забезпечується пріоритетне електропостачання (об'єкти, де не вимикають світло)*. The Village Україна. <https://www.village.com.ua/village/business/news/351153-ttsk-dsns-ta-verhovna-rada-kabmin-viznachiv-perelik-ob-ektiv-na-yaki-ne-vimikatimut-svitla>
42. Міністерство енергетики України. (2025). *Новини та офіційні повідомлення Міненерго (стан енергосистеми, відновлення, інтеграція в ENTSO-E, розподілена генерація)*. <https://mev.gov.ua/>
43. Міністерство економіки України. (2023–2024). *Національний план з енергетики та клімату України (проект НПЕК 2025–2030)*. Київ. <https://me.gov.ua/download/e79ecda3-f092-4d36-b600-21083ee61fa8/file.pdf>
44. Ministry for Communities & Territories Development of Ukraine. (2025). *Ukraine Recovery Priorities 2025 (RDNA4 briefing slides)*. <https://mindev.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/rdna4-ukraine-recovery-priorities-2025.pdf>
45. НКРЕКП. (2025). *Звіт про результати діяльності НКРЕКП за 2024 рік (брошура)*. [https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Byuleten\\_do\\_richnogo\\_zvitu/broshura\\_do\\_richnogo\\_zvitu\\_nkrekp-2024.pdf](https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Byuleten_do_richnogo_zvitu/broshura_do_richnogo_zvitu_nkrekp-2024.pdf)
46. НКРЕКП. (2026). *Стратегія НКРЕКП-2030: посилення стійкості енергосистеми, розширення прав споживачів та інтеграція з ЄС*. <https://e-b.com.ua/strategiya-nkrekp-2030-posilennya-stiikosti-energositemi-rozsirennya-prav-spozivaciv-ta-integraciya-z-jes-8820>
47. НКРЕКП. (2024). *Нові правила ринку електроенергії: постанова №178, REMIT-вимоги, оновлення договорів та ринкових механізмів*. BDO in Ukraine. <https://www.bdo.ua/uk-ua/insights-2/information-materials/2024/regulation-of-energy-market-in-ukraine-sectors>
48. Державна інспекція енергетичного нагляду України. (2024). *Публічний звіт за 2024 рік*. <https://sies.gov.ua/storage/app/sites/4/uploaded-files/2025/publicnyi%20zvut%202024.pdf>
49. Державна служба статистики України. (2024–2025). *Офіційна статистика у сфері енергетики (баланси, постачання, ціни, структура споживання)*. <https://stat.gov.ua/uk/topics/enerhetyka>
50. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС). (2025, 15 квітня). *Пріоритетні заходи з захисту критичної інфраструктури паливно-енергетичного сектору (рішення Державної комісії ТЕБ та НС)*. Урядовий кур'єр. <https://ukurier.gov.ua/uk/news/derzhavna-komisiya-teb-ta-ns-viznachila-prioritetn/>
51. Корф, Є. (2026, 14 лютого) *Чому енергосистема не розпалася та на чому триматиметься далі*. Енергобізнес. <https://e-b.com.ua/comu-energositema-ne-rozpalasya-ta-na-comu-trimatimetsya-dali-8956>