

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2026-58-3>

УДК 338.27:620.9:355.01

Лутковська Світлана Михайлівна

доктор економічних наук, професор,
проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи,
Вінницький національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8350-5519>

Довгань Павло Олегович

аспірант,
Вінницький національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9527-5469>

Svitlana Lutkovska, Pavlo Dovhan

Vinnytsia National Agrarian University

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ВИСОКОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ВОЄННИХ РИЗИКІВ

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF ENERGY SOURCE DIVERSIFICATION UNDER CONDITIONS OF HIGH UNCERTAINTY AND MILITARY RISKS

Анотація. У статті досліджено методичні підходи до оцінки економічної ефективності диверсифікації джерел енергії в умовах високої невизначеності та воєнних ризиків. Обґрунтовано, що сучасний стан енергетичної безпеки України потребує стратегічного переходу з орієнтацією на децентралізацію та локалізацію виробництва енергії. Систематизовано основні методичні підходи, включаючи аналіз концентрації (індекс ННІ), вартість незабезпеченої енергії (VoLL), показник стійкості (Resilience Index) та середньозважену вартість енергії (LCOE). Запропоновано інтегральний показник стратегічної стійкості та ефективності диверсифікації (ISRED), який дозволяє перейти від оцінки суто фінансового прибутку до оцінки вартості збереженого потенціалу енергосистеми. Розроблено шкалу інтерпретації результатів та відповідний алгоритм багатокритеріального відбору проектів.

Ключові слова: енергетична безпека, диверсифікація джерел енергії, воєнні ризики, децентралізація генерації, енергетична стійкість, інтегральний показник, ринок електричної енергії.

Summary. The purpose of the article is to provide a fundamental justification of methodological approaches and to develop the authors integral indicator for a comprehensive assessment of the economic efficiency of energy source diversification, which takes into account military risk factors, the actual level of decentralization of facilities, and the strategic value of energy resilience for the state. The study examines in detail the transformation processes of Ukraine's energy system under the influence of large-scale armed aggression, which has caused a shift in priorities from economic profit to the physical survival of infrastructure, and identifies the lack of alternatives to the transition to a distributed generation model. The authors' contribution consists in the development and theoretical justification of an integral indicator of strategic resilience and efficiency of diversification, which allows for a methodological transition from the assessment of purely commercial profit to the assessment of the value of the preserved energy potential of the system. The scientific novelty of the results lies in the improvement of the tools for assessing the feasibility of diversification by introducing a special coefficient of adaptive resilience, which mathematically integrates the degree of geographical decentralization and the level of fuel independence of generating capacities. The practical significance of the research results lies in the formation of a clear scale for interpreting the calculated values and a multi-criteria selection algorithm for investment projects, which provides government authorities and private investors with the opportunity to objectively justify capital investments in energy security. The main conclusion of the work is the proof that the proposed methodological approach allows for neutralizing the misconception about the excessive cost of decentralized sources, demonstrating their decisive role in ensuring the continuity of production.

processes, preserving the value added of the national economy, and overall strengthening the states resilience under conditions of constant military threats.

Keywords: energy security, diversification of energy sources, military risks, decentralization of generation, energy resilience, integral indicator, electricity market.

Постановка проблеми. Сучасний стан енергетичної безпеки України характеризується безпрецедентною динамікою загроз, що трансформували енергетичну систему з об'єкта економічного регулювання на критичний фактор національного виживання. Повномасштабна збройна агресія та цілеспрямований енергоцид, спрямований на руйнування магістральних мереж та об'єктів великої теплової та гідрогенерації, виявили фундаментальну вразливість гіперцентралізованої архітектури вітчизняного енергосектору. У ситуації, коли вузлові точки генерації стають пріоритетними цілями для ворога, виникає гостра потреба у стратегічному переході до розподіленої (децентралізованої) моделі, яка базується на диверсифікації джерел та локалізації виробництва енергії.

Однак процес такої трансформації стикається з глибоким методичним протиріччям. Традиційні підходи до оцінки економічної ефективності енергетичних проєктів, що базуються на показниках чистої приведеної вартості (NPV), внутрішньої норми прибутковості (IRR) та термінів окупності, розроблені для умов стабільного ринку з низькою волатильністю ризиків. У воєнний час такі моделі стають неадекватними, оскільки:

- вони не враховують нелінійні воєнні ризики (можливість фізичного знищення активу);
- ігнорують соціально-економічну цінність «енергії виживання» (монетизацію збитків, яких вдалося уникнути завдяки наявності альтернативного живлення у критичні моменти);
- традиційні методи дисконтування «карають» довгострокові інвестиції у ВДЕ через високу ставку ризику, попри їх вищу живучість порівняно з великими ТЕС.

Таким чином, постає гостра науково-практична проблема: відсутність інтегрованого інструментарію, який би дозволяв об'єктивно порівнювати капіталомісткі проєкти диверсифікації не лише за критерієм фінансової самоокупності, а й за критерієм їх внеску у загальну стійкість (resilience) енергосистеми. Існує нагальна потреба у розробці такої методики, яка б нівелювала ефект «високої вартості» альтернативних рішень шляхом врахування їх стратегічних переваг у забезпеченні безперервності виробничих процесів та збереженні доданої вартості економіки під час шокових впливів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання енергетичної безпеки та стратегічного розвитку галузі перебувають у центрі уваги багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Теоретичні засади функціонування ринку електричної енергії в умовах трансформації закладені в роботах проф. В. Гейця [6] та О. Суходолі [7]. Мето-

дичні підходи до оцінки стратегій розвитку підприємств альтернативної енергетики ґрунтовно досліджені Ю. Демурджан [11], яка наголошує на необхідності синтезу кількісних і якісних показників у прийнятті рішень. Потенціал відновлюваних джерел енергії, зокрема біопалива та сонячної енергетики, а також бар'єри їх інноваційного розвитку висвітлено у працях Д. Токарчук [12]. Попри значну кількість напрацювань, специфіка оцінки ефективності диверсифікації саме в умовах воєнного стану, що передбачає інтеграцію показників живучості (resilience) та вартості уникнутих втрат (VoLL) у єдину модель, залишається недостатньо розробленою.

Мета статті полягає в обґрунтуванні методичних підходів та розробці авторського інтегрального показника для оцінки економічної ефективності диверсифікації джерел енергії, який би враховував чинники воєнних ризиків, рівень децентралізації та стратегічну цінність енергетичної стійкості для збереження економічного потенціалу країни.

Виклад основного матеріалу дослідження. На сьогодні в Україні ринок електричної енергії регулюється законом України «Про ринок електричної енергії» закріплює перехід від державної монополії до конкурентної моделі європейського зразка, впроваджуючи механізм анбандлінгу (розділення функцій виробництва, передачі та збуту) та створюючи вільні майданчики для торгівлі енергією (ринки «на добу наперед», двосторонніх договорів та балансуючий ринок) [1].

Для диверсифікації він є критично важливим, оскільки лібералізує доступ до мереж для приватних інвесторів та виробників з відновлюваних джерел, забезпечує право споживача на вільний вибір постачальника та створює правову основу для синхронізації з європейською мережею ENTSO-E, що в умовах війни трансформує енергосистему з вразливої централізованої структури у гнучку децентралізовану мережу.

В той же час варто зауважити, що Енергетична стратегія України на період до 2050 року визначає курс на повну трансформацію енергосектору через декарбонізацію, відмову від викопного палива та перехід до кліматично нейтральної енергетики («Green Deal»), де ключовими пріоритетами є розвиток атомної генерації, масштабне впровадження відновлюваних джерел енергії та водневих технологій. В умовах воєнних ризиків стратегія акцентує увагу на побудові децентралізованої, інтегрованої в європейський простір енергосистеми, що базується на принципах енергетичної безпеки та стійкості, перетворюючи Україну на енергетичний

хаб Європи через модернізацію мереж та стимулювання інвестицій у новітні технології зберігання та балансування енергії [2].

Для оцінки економічної ефективності диверсифікації в умовах невизначеності та воєнних ризиків використовують як класичні фінансові формули, так і специфічні індекси безпеки та ризику.

Нами проаналізовані основні методичні підходи, а саме:

1. Оцінка концентрації (рівень диверсифікації)

$$HHI = \sum_{i=1}^n S_i^2$$

де: S_i – частка i -го джерела енергії в загальному балансі (у відсотках або частках одиниці);

n – кількість джерел.

Варто зазначити, що чим нижче значення HHI, тим вища диверсифікація (безпека). Значення вище 2000 вважається критичним рівнем залежності.

2. Коригована вартість з урахуванням ризиків

В умовах війни стандартний показник NPV (чиста приведена вартість) коригується на коефіцієнт імовірності збереження активу:

$$NPV_{risk} = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t * P_t}{(1+r)^2} - IC$$

де: CF_t – очікуваний грошовий потік у періоді t ;

P_t – ймовірність безпечного функціонування об'єкта (враховує воєнні ризики, $0 \leq P_t \leq 1$);

r – ставка дисконтування (включає премію за воєнний ризик);

IC – інвестиційні витрати на диверсифікацію.

3. Вартість незабезпеченої енергії (Value of Lost Load – VoLL)

Це ключовий показник для обґрунтування диверсифікації. Він показує збитки економіки від відключення енергії, які ми «заощаджуємо» завдяки диверсифікації:

$$E_{eff} = \Delta E \cdot VoLL$$

де: ΔE – обсяг енергії, який був би втрачений без диверсифікації (кВт•год);

$VoLL$ – питомі збитки на одиницю недопоставленої енергії (грн/кВт•год).

4. Показник стійкості (Resilience Index)

$$R = \frac{\int_{t_0}^{t_1} F_{(t)} d_t}{\int_{t_0}^{t_1} F_{target(t)} d_t}$$

де: $F_{(t)}$ – реальний рівень енергозабезпечення після інциденту;

$F_{target(t)}$ – цільовий (плановий) рівень енергозабезпечення;

$t_0 \dots t_1$ – період від моменту аварії до повного відновлення.

5. Середньозважена вартість енергії (LCOE)

Для порівняння різних джерел (наприклад, газ/сонце + акумулятор) використовують LCOE (Levelized Cost of Energy):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n I_t + M_t + F_t / (1+r)^t}{\sum_{t=1}^n E_t / (1+r)^t}$$

де: I_t – інвестиційні витрати;

M_t – витрати на експлуатацію та обслуговування;

F_t – витрати на паливо (для ВДЕ дорівнюють 0);

E_t – обсяг виробленої енергії.

6. Ефект від зниження імпортової залежності

Економічний ефект (E_{imp}) від заміщення імпортового ресурсу власним (диверсифікованим):

$$E_{imp} = Q_{subst} \cdot (P_{imp} \cdot e - P_{loc})$$

де: Q_{subst} – обсяг заміщеного ресурсу;

P_{imp} – ціна імпортового ресурсу у валюті;

e – прогностичний обмінний курс (фактор невизначеності);

P_{loc} – собівартість власного альтернативного ресурсу (табл. 1).

Загалом погоджуємося з думкою Ю. Демурджан, що методичний підхід до оцінки ефективності реалізації стратегії розвитку підприємств альтернативної енергетики має базуватися на поєднанні кількісних та якісних показників, що дозволяє врахувати не лише фінансові результати, а й стратегічні вектори розвитку в умовах високої невизначеності [11].

В той же час як свідчать дослідження Д. Токарчук, Україна має величезний потенціал до використання відновлюваних джерел енергії, таких як, біопалива та відходів, гідроенергетики, вітрової та сонячної енергетики. Втім недостатність інноваційно-інвестиційних вкладень, недосконалість нормативно-правового поля, складнощі налагодження даного виду діяльності вповільнюють їх розвиток [12, с. 112].

Тому на нашу думку доцільним є вдосконалення методик оцінки доцільності диверсифікації виробництва електроенергії. Для оцінки економічної ефективності диверсифікації джерел енергії в умовах високої невизначеності та воєнних ризиків нами пропонується запровадити інтегральний показник стратегічної стійкості та ефективності диверсифікації ISRED (Integral Strategic Resilience and Efficiency of Diversification).

Суть авторського підходу полягає у переході від оцінки чистого прибутку до оцінки вартості збереженого потенціалу самої системи.

Для визначення відповідного показника необхідним є розрахунок коефіцієнта адаптивної стійкості (K_{res}). Цей показник модифікує стандартний Resilience Index, враховуючи не лише швидкість відновлення, а й автономність джерел:

$$K_{res} = \sum_{i=1}^n (d_i * a_i) * R$$

де: d_i – ступінь децентралізації i -го джерела (0 – велика ТЕС, 1 – розподілена генерація);

Таблиця 1 – Методичні підходи до оцінки енергетичної диверсифікації

Метод	Формула обрахунку	Сфера застосування	Особливості в умовах війни
Аналіз концентрації (Індекс HHI)	$HHI = \sum_{i=1}^n S_i^2$	Оцінка структурної різноманітності джерел та постачальників	Дозволяє виявити критичну залежність від вузлових об'єктів (наприклад, великих ТЕС)
Коригована доходність (Risk-Adjusted NPV)	$NPV_{risk} = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t * P_t}{(1+r)^2} - IC$	Оцінка фінансової привабливості інвестиційних проектів	Враховує ймовірність фізичного знищення активу та премію за воєнний ризик у ставці
Вартість стійкості (Resilience Index)	$R = \frac{\int_{t_0}^{t_1} F_{(t)} d_t}{\int_{t_0}^{t_1} F_{target(t)} d_t}$	Оцінка здатності системи працювати після обстрілів/аварій	Пріоритет надається децентралізованим джерелам, які важче вивести з ладу одночасно.
Економічний ефект виживання (VoLL)	$E_{eff} = \Delta E \cdot VoLL$	Розрахунок збитків, яких вдалося уникнути завдяки диверсифікації	Головним критерієм стає не ціна кВт-год, а факт наявності живлення для критичних об'єктів
LCOE (Порівняльна собівартість)	$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n I_t + M_t + F_t / (1+r)^t}{\sum_{t=1}^n E_t / (1+r)^t}$	Порівняння різних технологій (ВДЕ, газ, вугілля, атом)	Враховує зростання витрат на логістику палива та охорону об'єктів
Метод реальних опціонів (ROA)	Вартість права на зміну стратегії	Прийняття рішень у ситуації, коли майбутнє невідоме	Диверсифікація розглядається як «страховий поліс», що дає можливість переключитися на інше паливо
Сценарне моделювання (Монте-Карло)	Розподіл ймовірностей результату	Прогнозування за умов непередбачуваності цін та ризиків	Аналіз тисяч сценаріїв: від швидкого завершення війни до тривалого конфлікту

Джерело: систематизовано автором на основі [3–10]

α_i – рівень паливної незалежності (1 для ВДЕ, 0,2 – для імпортного газу);

R – базовий індекс стійкості (Resilience Index)

Отже, відповідний індекс ефективності диверсифікації визначається як відношення сумарного ефекту (заощаджених збитків та операційного прибутку) до витрат на диверсифікацію з урахуванням стійкості:

$$I_{sred} = \frac{(NPV_{risk} + E_{eff}) * K_{res}}{IC}$$

де: NPV_{risk} – чиста вартість, коригована на ризик;

E_{eff} – ефект від уникнення збитків через показник VoLL;

IC – інвестиції в диверсифікацію.

Унормовані показники використання відповідної методики представлені в таблиці 2 та дають можливість оцінити доцільність реалізації відповідних проектів.

Запропонована авторська методика базується на алгоритмі багатокритеріального відбору, де кінцеве рішення приймається не лише на основі комерційної окупності, а через призму здатності об'єкта підтримувати критичне навантаження в умовах дефіциту енергії. Такий підхід дозволяє нівелювати ефект «високої вартості» альтернативних джерел, демонструючи їх реальну цінність для збереження валової доданої вартості підприємства або регіону.

Висновки. Сучасна парадигма енергетичної безпеки України в умовах воєнного стану

Таблиця 2 – Шкала інтерпретації авторської методики визначення інтегрального показника стратегічної стійкості та ефективності диверсифікації джерел енергії

Значення ISRED	Рівень ефективності	Рекомендації по впровадженню
> 1,5	Високий	Проект є критично важливим для енергетичної безпеки; швидке впровадження.
1,0 – 1,5	Оптимальний	Проект економічно виправданий та значно підвищує стійкість системи.
0,5 – 1,0	Допустимий	Потребує залучення державних субсидій або грантів (через високі воєнні ризики).
< 0,5	Низький	Проект має надмірні ризики або низьку здатність до виживання в умовах атак.

Джерело: авторське бачення

потребує докорінного перегляду методичних підходів до оцінки ефективності енергетичних проєктів, оскільки традиційні фінансові показники не враховують нелінійні воєнні ризики та стратегічну цінність стійкості системи. Аналіз чинного законодавства та стратегічних документів, зокрема Закону України «Про ринок електричної енергії» та Енергетичної стратегії до 2050 року, підтверджує незворотність курсу на децентралізацію генерації та інтеграцію в європейський енергопростір як ключових факторів зниження вразливості національної мережі.

Систематизація існуючих методичних підходів засвідчила необхідність їх синтезу для отримання об'єктивної оцінки доцільності диверсифікації джерел енергії в умовах високої невизначеності.

У роботі обґрунтовано доцільність запровадження авторського інтегрального показника стратегічної стійкості та ефективності диверсифікації, який базується на переході від оцінки чистого прибутку до оцінки вартості збереженого потенціалу самої системи.

Впровадження розробленої методики та відповідної шкали інтерпретації її значень дозволяє нівелювати ефект високої вартості альтернативної енергетики, демонструючи її реальну цінність для збереження валової доданої вартості на рівні підприємства та регіону в умовах воєнних загроз. Запропонований підхід базується на алгоритмі багатокритеріального відбору, де стратегічне рішення приймається через призму здатності об'єкта підтримувати критичне навантаження в умовах дефіциту енергії.

Список використаних джерел:

1. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення: 29.12.2025).
2. Енергетична стратегія України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 р. № 373-р.
3. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3) : February 2023 – December 2023 / World Bank ; Government of Ukraine ; European Union ; United Nations. Washington, DC: World Bank, 2024. 192 p. URL: <http://hdl.handle.net/10986/41097> (дата звернення: 29.12.2025).
4. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей / НЕК «Укренерго». Київ, 2024. 84 с. URL: <https://ua.energy/zvity-z-otsinky-vidpovidnosti> (дата звернення: 29.12.2025).
5. Russia Will Pay: Report on damages to Ukraine's infrastructure caused by Russia's invasion / Kyiv School of Economics. Kyiv : KSE Institute, 2024. URL: <https://kse.ua/russia-will-pay/> (дата звернення: 29.12.2025).
6. Енергетична безпека України: методологія системного аналізу та стратегічного планування: підручник за ред. В. М. Гейця. Київ : Інститут економіки та прогнозування НАН України, 2020. 350 с.
7. Суходоля О. М. Стійкість енергетичної системи як об'єкт державного управління в умовах воєнного стану: аналітична записка. Київ: НІСД, 2023. 24 с.
8. World Energy Outlook 2023 / International Energy Agency. Paris: IEA Publications, 2023. 524 p.
9. Renewable Power Generation Costs in 2023 / International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi : IRENA, 2024. 110 p.
10. Guidance on the estimation of Value of Lost Load (VoLL) / Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER). Ljubljana: ACER, 2020. 45 p.
11. Демурджан Ю. А. Методичний підхід до оцінки ефективності реалізації стратегії розвитку підприємств альтернативної енергетики. *Економіка та суспільство*. 2025. Випуск 76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-76>
12. Токарчук Д. М., Фурман І. В. Сучасні енергоефективні технології в АПК України. *Економіка, фінанси, менеджмент актуальні питання науки і практики*. 2020. № 4 (54). С. 99–116. DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2020-4-7>

References:

1. Pro rynok elektrychnoi enerhii [About the electricity market]: Zakon Ukrainy vid 13.04.2017 r. № 2019-VIII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (in Ukrainian)
2. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2050 roku [Energy Strategy of Ukraine for the period until 2050]: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 21.04.2023 r. № 373-r. (in Ukrainian)
3. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3) : February 2023 – December 2023 / World Bank ; Government of Ukraine ; European Union ; United Nations. Washington, DC: World Bank, 2024. 192 p. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/41097>
4. Zvit z otsinky vidpovidnosti (dostatnosti) heneruiuchykh potuzhnosti [Report on the assessment of compliance (sufficiency) of generating capacities] / NEK "Ukrenerho". Kyiv, 2024. 84 p. Available at: <https://ua.energy/zvity-z-otsinky-vidpovidnosti> (in Ukrainian)
5. Russia Will Pay: Report on damages to Ukraines infrastructure caused by Russias invasion / Kyiv School of Economics. Kyiv : KSE Institute, 2024. Available at: <https://kse.ua/russia-will-pay/> (in Ukrainian)
6. Enerhetychna bezpeka Ukrainy: metodolohiia systemnoho analizu ta stratehichnoho planuvannia: pidruchnyk za red. V. M. Heitsia. Kyiv : Instytut ekonomiky ta prohnozuvannia NAN Ukrainy, 2020. 350 p. (in Ukrainian)

7. Sukhodolia O. M. (2023). Stiikist enerhetychnoi systemy yak ob'ekt derzhavnoho upravlinnia v umovakh voiennoho stanu: analitychna zapyska. [Energy system sustainability as an object of state management under martial law: analytical note]. Kyiv: NISD, 24 p. (in Ukrainian)
8. World Energy Outlook 2023 / International Energy Agency. Paris: IEA Publications, 2023. 524 p.
9. Renewable Power Generation Costs in 2023 / International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi : IRENA, 2024. 110 p.
10. Guidance on the estimation of Value of Lost Load (VoLL) / Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER). Ljubljana: ACER, 2020. 45 p.
11. Demurdzhan Yu. A. (2025). Metodychnyi pidkhid do otsinky efektyvnosti realizatsii stratehii rozvytku pidpriemstv alternatyvnoi enerhetyky [Methodological approach to assessing the effectiveness of implementing the development strategy of alternative energy enterprises]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*. Vypusk 76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-76> (in Ukrainian)
12. Tokarchuk D. M., Furman I. V. (2020). Suchasni enerhoefektyvni tekhnolohii v APK Ukrainy [Modern energy-efficient technologies in the agricultural industry of Ukraine]. *Ekonomika, finansy, menedzhment aktualni pytannia nauky i praktyky – Economics, finance, management are topical issues of science and practical activity*, vol. 4 (54), pp. 99–116. DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2021-3-4> (in Ukrainian)

Дата надходження статті: 07.01.2026

Дата прийняття статті: 19.01.2026

Дата публікації статті: 03.02.2026