

**О. І. Амоша,**

*академік НАН України,*

*доктор економічних наук, професор,*

ORCID 0000-0003-0189-3819,

e-mail: [admin@econindustry.org](mailto:admin@econindustry.org),

**В. В. Микитенко,**

*доктор економічних наук, професор,*

*академік АЕН України,*

ORCID 0000-0002-8212-9777,

e-mail: [vmikitenko@ukr.net](mailto:vmikitenko@ukr.net),

*Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ*

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ ЗА КОМПОЗИТНИМ ПОКАЗНИКОМ

**Вступ.** Для оцінки економічної стійкості енергосистем, зазвичай, використовують ті кількісні методи, які базуються на економіко-статистичних розрахунках техніко-економічних та фінансових показників, серед яких найбільш усталеними, крім інструментарію аналізу ризиків, використовують методи [1]: маргінального аналізу витрат; балансування вартості; стохастичного моделювання; енергетичного балансу; економіко-математичного моделювання; аналізу сценаріїв; тощо. Визнаючи нагальність, на етапі повномасштабної військової агресії РФ проти України, проведення реструктуризації й відновлення енергетичної сфери України за рахунок активізації процесів із розбудови в її межах енергосистем із елементами розподіленої генерації, слід засвідчити наступне: економічна стійкість національних енергосистем стає надважливою проблемою цілєю суб'єктів управління різного рівня у площині забезпечення національної безпеки, що вимагає розширення й впровадження нових методів оцінювання й прогнозування економічної стійкості за рахунок удосконалення системи економіко-математичного моделювання та ідентифікації і, відповідно, за урахування конститутивно-ключових екстернальних ефектів внаслідок масштабного запровадження на практиці енергосистем із елементами розподіленої генерації.

**Мета статті** – розробка та обґрунтування методичного підходу до оцінювання економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації за єдиним критерієм оцінки техніко-економічних, інституціональних та соціальних екстернальних ефектів для національної соціально-економічної системи внаслідок розвитку сфери розподіленої генерації.

**Результати дослідження.** Слід признати, що екстернальні ефекти в енергосистемах із елементами розподіленої генерації (РГ) визначають як в якості позитивних, так і негативних наслідків виробництва, генерування та споживання енергії, які виникають за результатами провадження цієї діяльності чи активізації розвитку інноваційних енергосистем із елементами РГ та впливають на суспільство, структуру економіки та темпи її розвитку, технологічні рішення та навколишнє природне середовище, але, по факту, не відображаються в ринкових цінах на енергію. При цьому, від типу, масштабів та спрямованості дії екстернальних ефектів і залежить економічна стійкість енергосистем із елементами розподіленої генерації (РГ), галузева структура енергетики та темпи відновлення реального сектору економіки в умовах постійного нарощення різної природи загроз і ризиків сталому розвитку, що існують, наразі, в Україні. Ступінь виникнення, тип та масштаби генерування екстернальних ефектів залежать, від різних факторів (більшою мірою, від техніко-технологічних, інноваційних, економічних, виробничих, інституціональних та управлінських), тож, найбільш вагомими, з усього переліку, є наступні, крім визначених у [2]:

технології генерації, які використовуються для генерації енергії, що можуть генерувати різні рівні й масштаби реалізації дії екстернальних ефектів (наприклад, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) мають менші негативні екологічні та соціальні ефекти, проте, більш масштабніші техніко-економічні та інноваційні, порівняно з використанням традиційних джерел енергії на основі викопного палива);

масштаб виробництва: РГ, що включає малі енергетичні установки, які розміщені при наближенні до місця споживання, можуть зменшити втрати

енергії в електромережах, але, водночас – збільшити потенційно можливі й реальні місцеві/локальні негативні впливи й загрози;

інфраструктура та розміщення: розміщення енергосистем та інфраструктура розподіленої генерації впливає на ступінь й масштаби екстернальних ефектів, особливо у площині транспортування енергії, забезпечення надійності та дотримання стандартів безпеки;

політика та регулювання: економічна, фінансова, податкова, науково-технологічна й інші види державної політики та мікро- і макроекономічного регулювання діяльності в енергетичній сфері суттєво впливають на виникнення різних за природою екстернальних ефектів. Вказане реалізується шляхом встановлення стандартів, стимулювання або ж гальмування діяльності РГ.

За результатами дослідження, ідентифікації й групування екстернальних ефектів, що проведено в ІЕП НАН України, визнаних за урахування відбу-

дови, інноваційного розвитку та забезпечення штатного функціонування енергосистем із елементами РГ в Україні [3], встановлено найвагомішими та значущими для забезпечення переходу реального сектору економіки України до сталого господарювання певний перелік факторів (табл. 1). Зокрема й наступні: а) зменшення обсягу викидів парникових газів (техніко-технологічний, соціо-екологічний тип); б) зниження залежності від імпорту енергії (економічний, виробничий, інституціональний); в) створення нових робочих місць (соціально-економічний, виробничий, інституціональний); г) зменшення навантаження на енергетичну інфраструктуру (виробничий, інфраструктурний, економічний, інституціональний); д) стимулювання інновацій та технологічного розвитку (економічний, інноваційний, інфраструктурний, інституціональний); ж) підвищення рівня енергоефективності (технологічний, виробничий, економічний, інноваційний); з) стимулювання економічного розвитку (економічний, інституціональний, соціальний, інноваційний); тощо.

Таблиця 1

**Конститутивно-ключові фактори впливу на розбудову енергосистем із елементами розподіленої генерації та генерування масштабів екстернальних ефектів<sup>1</sup>**

Фактори впливу	Сутність та зміст
Технології генерації (техніко-технологічні фактори)	Технології, які використовуються для генерації енергії, можуть генерувати різні рівні й масштаби реалізації дії екстернальних ефектів. Наприклад, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) мають менші негативні екологічні та соціальні ефекти, проте, масштабніші техніко-економічні та інноваційні, порівняно з використанням традиційних джерел енергії на основі викопного палива
Масштаб виробництва (виробничі фактори)	Розподілена генерація (РГ), яка включає малі енергетичні установки, які розміщені біля місця споживання, може зменшити втрати енергії в електромережах, але, водночас, може збільшити потенційно можливі й реальні місцеві/локальні негативні впливи й загрози
Інфраструктура та розміщення (просторові фактори)	Розміщення енергосистем та інфраструктура РГ впливає на ступінь й масштаби екстернальних ефектів, особливо у площині транспортування енергії, забезпечення надійності та дотримання стандартів безпеки
Політика та регулювання (інституціональні та управлінські фактори)	Економічна, фінансова, податкова, науково-технологічна й інші види державної політики та мікро- і макроекономічного регулювання діяльності в енергетичній сфері суттєво впливають на виникнення різних за природою екстернальних ефектів. Це реалізується шляхом встановлення стандартів, стимулювання або ж гальмування діяльності РГ

<sup>1</sup> Сформульовано, обґрунтовано та систематизовано у табличному вигляді авторами дослідження.

Групування та ідентифікація останніх за вагомістю, визначення переліку основних й найбільш значущих показників для дослідження екстернальних ефектів (табл. 2), засвідчили доцільність застосування у площині оцінювання та прогнозування вимірів економічної стійкості енергосистем із елементами РГ (які функціонують в умовах нарощення загроз і ризиків) саме методів економіко-математичного моделювання [4].

На авторське переконання, слід використати для розрахунків економічної стійкості енергосистем із елементами РГ, крім, пропонованих у [6] і струк-

турно-логічний принцип обчислення узагальненого інтегрального показника (УІП), який базується на єдиному критерії [5] оцінки трьох груп показників-індикаторів, визнаних найвагомішими для ідентифікації масштабу вирішальних екстернальних ефектів для відбудови національної соціально-економічної системи та надійності функціонування української економіки, а саме [3]: техніко-економічних; інституціональних; соціальних. Зазначене пропонуємо виконувати у послідовності реалізації модельних та економіко-статистичних процедур за чотирма наступними блоками (табл. 3).

Таблиця 2

**Найвагоміші техніко-технологічні показники, необхідні для врахування при дослідженні екстернальних ефектів внаслідок розбудови енергосистем із РГ<sup>1</sup>**

Показники	Сутність та зміст основних техніко-технологічних показників та їхнє значення для розвитку енергосистем із елементами РГ
Навантаження на систему передачі електроенергії	Енергосистеми РГ можуть впливати на навантаження системи передачі електроенергії. Наприклад, велика кількість генераторів розподіленої генерації, розташованих в окремих точках, може призвести до перевантаження деяких ділянок системи передачі. Тому важливо визначити максимальний обсяг генерації, який може бути прийнятий системою передачі електроенергії без перевантаження
Стійкість мережі	Енергосистеми РГ можуть впливати на стійкість мережі, зокрема на частоту та напругу. Наприклад, якщо велика кількість генераторів розподіленої генерації працює в одному регіоні, це може призвести до зниження частоти та напруги в системі, що може мати вплив на роботу інших електроустановок. Тому важливо визначити максимальний обсяг генерації, який може бути прийнятий мережею без зниження стійкості
Використання місцевих ресурсів	Енергосистеми РГ можуть використовувати місцеві ресурси, такі як сонячна енергія та вітер, тощо. Це може допомогти зменшити залежність від імпортованої енергії та знизити витрати на транспортування електроенергії
Регулювання потужності енергосистем із елементами РГ	Регулювання потужності енергосистеми РГ може бути забезпечене різними методами та технологіями, залежно від типу та розміру системи, а також від умов експлуатації <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сформульовано, обґрунтовано та систематизовано у табличному вигляді авторами дослідження.

<sup>2</sup> Декілька способів і технологій, якими забезпечується регулювання потужності енергосистеми розподіленої генерації:

а) управління навантаженням: цей метод полягає у вимкненні або зниженні потужності генераторів розподіленої генерації в разі зниження попиту на електроенергію. Управління навантаженням може бути забезпечене за допомогою системи автоматичного управління, яка контролює споживання електроенергії та регулює виробництво на основі попиту;

б) управління потужністю: цей метод полягає у зміні потужності генераторів розподіленої генерації для забезпечення стійкої роботи системи. Управління потужністю може бути забезпечене за допомогою системи автоматичного управління потужністю, яка регулює виробництво на основі рівня навантаження та інших факторів;

в) акумулювання енергії: цей метод полягає у зберіганні надлишкової електроенергії, яка може бути використана в майбутньому. Акумулювання енергії може бути забезпечене за допомогою батарей, які забезпечують зберігання енергії на деякий час;

г) резервування: цей метод полягає у створенні додаткового резерву генераторів РГ для забезпечення стійкої роботи системи в разі відмови основних генераторів.

Таблиця 3

**Техніко-економічні, інституціональні та соціальні екстернальні ефекти в енергосистемах із елементами розподіленої генерації<sup>1</sup>**

Екстернальний ефект	Деталізація змістовності основного екстернального ефекту в енергосистемах із елементами розподіленої
1	2
<i>Техніко-економічні екстернальні ефекти</i>	
Зниження витрат на транспортування енергії	Розподілена генерація знижує витрати на транспортування енергії через коротші відстані та менші втрати в мережі
Зменшення залежності від імпорту енергоресурсів	Розвиток місцевих джерел енергії може зменшити залежність від імпорту та забезпечити енергетичну безпеку
Підвищення енергоефективності	Розподілена генерація може підвищити енергоефективність за рахунок зменшення втрат в мережі та оптимізації виробництва
Зниження капітальних витрат на будівництво нової інфраструктури	Застосування розподіленої генерації може знизити капітальні витрати на розвиток великих енергетичних об'єктів
Стимулювання інновацій та технологічного розвитку	Розвиток розподіленої генерації може сприяти інноваційному та технологічному розвитку в галузі енергетики

1	2
<i>Інституціональні екстернальні ефекти</i>	
Зниження залежності від монополістичних постачальників	Розвиток розподіленої генерації зменшує монопольну позицію великих постачальників, сприяє конкуренції та різноманітності в енергетичному ринку
Сприяння регуляторній прозорості та стабільності	Розподілена генерація вимагає встановлення прозорих та ефективних правил гри, що сприяє покращенню регуляторної бази та зниженню ризиків
Сприяння розвитку та інноваціям в енергетичному секторі	Створення стимулів для впровадження нових технологій та розробки інноваційних рішень у сфері енергетики через підтримку розподіленого виробництва
Зменшення ризику екологічних катастроф	Розподілена генерація сприяє зменшенню великих централізованих енергосистем, де можливість серйозних аварій та негативних екологічних наслідків вища
Збільшення соціальної відповідальності	Сприяє розвитку громадського участі та залученню спільнот до прийняття рішень у сфері енергетики, покращує взаєморозуміння та співпрацю
<i>Соціальні екстернальні ефекти</i>	
Створення нових робочих місць	Розвиток розподіленої генерації може сприяти створенню нових робочих місць в енергетичному секторі
Підвищення якості та надійності енергопостачання	Розподілена генерація може підвищити якість та надійність енергопостачання для споживачів
Забезпечення доступу до електроенергії для віддалених регіонів країни	Розподілена генерація може допомогти забезпечити доступ до енергії для віддалених та відокремлених населених пунктів та при порушенні роботи національної енергосистеми внаслідок руйнувань
Зниження забруднення та шкідливого навантаження на довкілля при поліпшенні здоров'я населення	Розподілена генерація, зокрема відновлювані джерела енергії, знижує забруднення довкілля та поліпшує стан здоров'я населення і його життєдіяльність
Сприяння енергетичному розвитку місцевих громад	Розподілена генерація може допомогти місцевим громадам стати енергетично незалежними та забезпечити сталий розвиток

<sup>1</sup> Тут і надалі. Сформульовано, обґрунтовано, визначено та систематизовано у табличному вигляді авторами дослідження.

**Блок 1:** для врахування техніко-економічних екстернальних ефектів і ключових аспектів функціонування енергосистем із РГ у відповідному узагальненому інтегральному показнику (УП<sub>ТЕ</sub>) розроблено і запропоновано до використання алгоритм розрахунку УП<sub>ТЕ</sub> за шістьма такими етапами:

*Етап 1.* Визначення ключових показників-індикаторів (КРІ<sub>ТЕ</sub>), які характеризують економічну стійкість енергосистем із елементами РГ за техніко-економічними екстернальними ефектами. Комплекс КРІ<sub>ТЕ</sub> має включати наступні значення: I) відносна частка ВДЕ в загальному балансі енергії; II) рівень

енергоефективності енергосистем із елементами РГ; III) вартість енергії згенерованої енергосистемами із елементами РГ; IV) зниження обсягів викидів парникових газів; V) надійність постачання енергії від енергосистем із елементами РГ. Визначення кожного з п'яти КРІ<sub>ТЕ</sub>, які допоможуть оцінити вплив розвитку енергосистем із елементами РГ на техніко-економічні аспекти (важливо враховувати конкретні умови та контекст кожного випадку при їх аналізі), слід виконати за наступними показниками, приведеними у табл. 4.

Таблиця 4

**Перелік показників для обчислення КРІ<sub>ТЕ</sub> для визначення економічної стійкості енергосистем із елементами РГ за техніко-економічною площиною**

КРІ <sub>ТЕ</sub>	Показники, використання яких рекомендовано для обчислення певного КРІ <sub>ТЕ</sub>
1	2
Відносна частка відновлювальних джерел енергії в загальному балансі енергії	Процентна частка відновлювальних джерел в загальній виробництві енергії
Рівень енергоефективності енергосистем із елементами розподіленої генерації	Коефіцієнт енергоефективності (наприклад, співвідношення виробленої енергії до витрат палива). Узагальнений інтегральний показник енергоефективності енергосистеми із елементами розподіленої генерації [6].

1	2
	Чотирирівнева система агрегованих показників-індикаторів енергоефективності енергосистеми із елементами РГ [6]
Вартість енергії згенерованої енергосистемами із елементами розподіленої генерації	Вартість одиниці енергії, виробленої розподіленою генерацією
Зниження обсягів викидів парникових газів	Відсоткове зменшення викидів парникових газів порівняно з базовим періодом
Надійність постачання енергії від енергосистем із елементами розподіленої генерації	Кількість перерв у постачанні енергії на одну побудовану годину

Етап 2. Перетворення  $KPI_{TE}$  у відносні  $\left(\frac{P_i}{P_m}\right)$  для порівняння, що виконується за формулою вигляду (1)

$$\frac{P_i}{P_m} = 1 - K_{TE} \left(\frac{T_i}{T_m}\right), \quad (1)$$

де  $P_i$  – абсолютне значення будь-якого техніко-економічного показника на кінець періоду спостереження (або прогнозу);  $P_m$  – абсолютне значення будь-якого техніко-економічного показника на початок періоду спостереження;  $\frac{T_i}{T_m}$  – показник відносної тривалості періоду спостереження;  $K_{TE}$  – коефіцієнт ламінарності/турбулентності протікання техніко-економічних процесів обраховується за формулою (2):

$$K_{TE} = 1 - \frac{P_i}{P_m}. \quad (2)$$

Етап 3. Визначення вагових коефіцієнтів для кожного  $KPI_{TE}$  в залежності від вагомості/значимості впливу на рівень економічної стійкості енергосистем РГ, що розраховується експертним шляхом за використання методу логічного проектування (МЛП) [7; 8] в залежності від значення певного техніко-економічного аспекту для конкретної енергосистеми із елементами РГ. Так, авторами встановлено коефіцієнти вагомості для кожного з приведених п'яти  $KPI_{TE}$  наступні: а) відносна частка відновлюваних джерел енергії в загальному балансі – 0,1; б) рівень енергоефективності – 0,3; в) вартість енергії – 0,2; г) зниження викидів парникових газів – 0,1; д) надійність постачання енергії – 0,2.

Етап 4. Обчислення п'яти інтегральних показників ( $g_{TE}$ ) за формулою вигляду (3):

$$g_{TE} = \int_{0,5}^{1,5} \left[1 - K_{TE} \left(\frac{T_i}{T_m}\right)\right] d\left(\frac{T_i}{T_m}\right) = 1 - \frac{K_{TE}}{2}, \quad (3)$$

де  $g_{TE}$  –  $g_{TE}$  (за цією формулою його розрахунок і здійснюється обчислення за кожним із п'яти значень).

Етап 5. Розрахунок  $UPI_{TE}$  економічної стійкості енергосистем ( $Q_{TE}$ ) за техніко-економічною площиною, що виконується з урахуванням вагових коефіцієнтів (4):

$$Q_{TE} = g_{TE_I}^{0,1} + g_{TE_{II}}^{0,3} + g_{TE_{III}}^{0,2} + g_{TE_{IV}}^{0,2} + g_{TE_V}^{0,2}, \quad (4)$$

де  $Q_{TE}$  – узагальнений інтегральний показник економічної стійкості енергосистем із елементами РГ за урахування техніко-економічних екстернальних ефектів;  $g_{TE_I}$  – ІІІ відносної частки відновлюваних джерел енергії в загальному балансі;  $g_{TE_{II}}$  – ІІІ рівня енергоефективності;  $g_{TE_{III}}$  – ІІІ вартості енергії;  $g_{TE_{IV}}$  – ІІІ зниження обсягів викидів парникових газів;  $g_{TE_V}$  – ІІІ надійності постачання енергії.

Етап 6. Інтерпретація кількісного значення  $UPI_{TE}$  за наступною ідентифікацією: чим вище значення  $UPI_{TE}$ , тим більш економічно стійкою (за техніко-економічними параметрами) є енергосистема з елементами РГ.

**Блок 2:** для врахування інституціональних екстернальних ефектів функціонування енергосистем із елементами РГ пропонуємо такий алгоритм:

Етап 1. Визначення ключових показників ( $KPI_{IN}$ ), які відображають економічну стійкість енергосистем за інституціональною площиною, зокрема, наступних: І) якість законодавства та регуляторної політики в енергетичному секторі, зокрема у сфері РГ; ІІ) рівень корупції та її вплив на енергетичний сектор; ІІІ) наявність інвестиційних програм та механізмів фінансування для розвитку енергосистем; ІV) рівень співпраці між державними, приватними та громадськими структурами в енергетичному секторі. Обчислення цих індикаторів –  $KPI_{IN}$  можна виконати/ рекомендовано здійснити за використання низки показників, приведених у табл. 5.

Етап 2. Перетворення значення кожного  $KPI_{IN}$  у відносні за використання аналогічних модельних вирішень (за формулами вигляду (1) та (2)).

Етап 3. Визначення вагових коефіцієнтів для кожного з  $KPI_{IN}$  в залежності від їх ваги для економічної стійкості за використання методу логічного проектування (МЛП) з розбудовою матриць ідентифікації вагомості впливу [6] на економічну стійкість: І) якість законодавства та регуляторної політики в енергетичному секторі – 0,3; ІІ) рівень корупції та її вплив на енергетичного сектору – 0,2; ІІІ) наявність інвестиційних програм та механізмів фінансування для розвитку енергосистем – 0,3; ІV) рівень співпраці між державними, приватними та громадськими структурами в енергетичному секторі – 0,2.

**Перелік показників для обчислення КРІ<sub>ІН</sub> для визначення економічної стійкості енергосистем із елементами РГ за інституціональною площиною**

КРІ <sub>ІН</sub>	Показники, використання яких рекомендовано для обчислення певного КРІ <sub>ІН</sub>
Якість законодавства та регуляторної політики в енергетичному секторі	Частота та обсяг змін у законодавстві або ж кількість прийнятих законів у певному періоді та їх відповідність міжнародним стандартам. Прозорість та доступність правил і нормативів. Рівень відповідності регуляторних документів міжнародним стандартам. Рівень конфліктів та суперечок у судовому розгляді питань енергетичного законодавства, яке стосується енергосистем із елементами РГ.
Рівень корупції та її вплив на енергетичний сектор	Кількість зареєстрованих випадків корупції в енергетичному секторі, що опікується енергосистемами з РГ. Рівень задоволеності громадськості заходами протидії корупції. Кількість призначених покарань за корупційні порушення у секторі енергетичної галузі з елементами РГ.
Наявність інвестиційних програм та механізмів фінансування для розвитку енергосистем	Обсяг інвестицій у розвиток енергетичних технологій із елементами РГ та відповідної інфраструктури. Кількість укладених угод та партнерств з інвесторами у сфері енергетики у площині розвитку енергосистем із елементами РГ. Рівень доступності кредитних ресурсів для енергетичних проєктів із РГ.
Рівень співпраці між державними, приватними та громадськими структурами в енергетичному секторі	Кількість укладених угод між державними та приватними компаніями у сфері енергетики для розвитку енергосистем РГ. Рівень задоволеності сторін учасників від рівня співпраці. Кількість громадських ініціатив та партнерств, спрямованих на розвиток енергетичного сектору у площині масштабної розбудови енергосистем із елементами РГ.

*Етап 4.* Обчислення інтегральних показників (ІІ) конститутивно-ключових інституціональних ефектів за формулою вигляду (5)

$$g_{ІН} = \int_{0,5}^{1,5} \left[ 1 - K_{ІН} \left( \frac{T_i}{T_m} \right) \right] d \left( \frac{T_i}{T_m} \right) = 1 - \frac{K_{ІН}}{2}, \quad (5)$$

де  $g_{ІН}$  – ІІ, за цією формулою його розрахунок і здійснюється обчислення за кожним із чотирьох значень:  $g_{ІН_I}$  – ІІ якості законодавства та регуляторної політики в енергетичному секторі;  $g_{ІН_{II}}$  – ІІ рівня корупції та її впливу на енергетичний сектор;  $g_{ІН_{III}}$  – ІІ наявності інвестиційних програм та механізмів фінансування для розвитку енергосистем;  $g_{ІН_{IV}}$  – ІІ рівня співпраці між державними, приватними та громадськими структурами в енергетичному секторі.

*Етап 5.* Розрахунок УП<sub>ІН</sub> економічної стійкості енергосистем ( $Q_{ІН}$ ), що виконується з урахуванням вагових коефіцієнтів конститутивно-ключових екстернальних інституціональних ефектів (6):

$$Q_{ІН} = g_{ІН_I}^{0,3} + g_{ІН_{II}}^{0,2} + g_{ІН_{III}}^{0,3} + g_{ІН_{IV}}^{0,2}, \quad (6)$$

де  $Q_{ІН}$  – УП<sub>ІН</sub> економічної стійкості енергосистем за інституціональними параметрами;  $g_{ІН_I}^{0,3}$  – ІІ із урахуванням вагового коефіцієнту якості законодавства та регуляторної політики в енергосекторі;  $g_{ІН_{II}}^{0,2}$  – ІІ із урахуванням вагового коефіцієнту рівня корупції та її впливу на енергетичний сектор;  $g_{ІН_{III}}^{0,3}$  – ІІ із урахуванням вагового коефіцієнту інвестиційних програм та механізмів фінансування розвитку

енергосистем;  $g_{ІН_{IV}}^{0,2}$  – ІІ із урахуванням вагового коефіцієнту співпраці між державними, приватними та громадськими структурами в енергетичному секторі держави/ регіону.

*Етап 6.* Інтерпретація кількісного значення УП ( $Q_{ІН}$ ) за наступною ідентифікацією: чим вище значення УП<sub>ІН</sub>, тим більш економічно стійкою (за інституціональними параметрами) є енергосистема з елементами РГ.

**Блок 3:** Розрахунок УП<sub>соц</sub> за урахування соціальних факторів впливу на економічну стійкість – за такими етапами:

*Етап 1.* Визначення ключових показників (КРІ<sub>соц</sub>), які відображають економічну стійкість енергосистем за соціальними ефектами. Такими, на авторське переконання за результатами дослідження, є наступні: I) вплив енергосистем із елементами розподіленої генерації на зайнятість населення (створення нових робочих місць, забезпечення професійного розвитку, тощо); II) вплив енергосистем із елементами розподіленої генерації на освіту та підготовку кадрів у сфері енергетики; III) вплив енергосистем із елементами розподіленої генерації на доступність та ціни на енергетичні ресурси для населення; IV) вплив енергосистем із елементами розподіленої генерації на рівень енергетичної безпеки для населення та місцевих (територіальних) спільнот; V) вплив енергосистем із елементами розподіленої генерації на створення та сталий розвиток енергетичних спільнот і розширення громадської участі у енергетичних програмах. Обчислення цих

п'яти  $KPI_{CO2}$  – рекомендовано провадити за використання наступної низки показників, що дозволить оцінити вплив розвитку енергосистем із елементами

РГ на різні аспекти економічної стійкості, соціально-економічної забезпеченості та благополуччя населення, приведено у табл. 6.

Таблиця 6

**Перелік показників для обчислення  $KPI_{CO2}$  для визначення економічної стійкості енергосистем із елементами РГ за соціальною площиною**

$KPI_{CO2}$	Показники, використання яких рекомендовано для обчислення певного $KPI_{CO2}$
Вплив енергосистем із елементами розподіленої генерації на зайнятість населення	Кількість нових робочих місць у секторі розподіленої генерації. Участь населення у професійному навчанні та розвитку в сфері розподіленої генерації. Кількість осіб, які отримали професійний розвиток у сфері розподіленої генерації. Середній рівень доходу робітників у секторі розподіленої генерації
Вплив енергосистем із елементами РГ на освіту та підготовку кадрів у сфері енергетики	Кількість осіб, які проходять навчання та підвищення кваліфікації у сфері розподіленої генерації. Рівень доступності освітніх програм та курсів у галузі розподіленої генерації. Кількість осіб, які отримали вищу освіту у галузі енергетики
Вплив енергосистем із елементами РГ на доступність та ціни на енергетичні ресурси для населення	Середня вартість енергетичних ресурсів для населення (електроенергія, тепло, тощо). Рівень доступності енергетичних ресурсів для різних соціальних груп населення. Зміна цін на енергетичні ресурси для населення
Вплив енергосистем із елементами РГ на рівень енергетичної безпеки для населення та місцевих (територіальних) спільнот	Кількість аварій, порушень та відключень в системах розподіленої генерації. Рівень надійності та стабільності енергопостачання для населення
Вплив енергосистем із елементами РГ на створення та сталий розвиток енергетичних спільнот і розширення громадської участі у енергетичних програмах	Кількість та активність енергетичних спільнот у регіоні. Рівень участі громадських організацій та мешканців у прийнятті рішень щодо розподіленої генерації та енергетичних програм. Рівень задоволеності учасників програмами розбудови енергосистем із елементами розподіленої генерації

*Етап 2.* За відповідною схемою (тобто, за використання приведених вище формул вигляду (1) та (2)) – виконуємо перетворення значень кожного з п'яти  $KPI_{CO2}$  у відносні кількісні значення показників.

*Етап 3.* Обґрунтування кількісних значень вагових коефіцієнтів для кожного з  $KPI_{CO2}$ . Так, зокрема, для визначення екстернальних ефектів, використали *метод логічного проєктування* (МЛП) із розбудовою матриць ідентифікації вагомості впливу [6; 7], за яким встановлено: I) вплив енергосистем із елементами РГ на зайнятість населення – коефіцієнт вагомості становить 0,3; II) вплив на освіту та підготовку кадрів у сфері енергетики – 0,1; III) вплив енергосистем на доступність та ціни на енергетичні ресурси для населення – 0,3; IV) вплив на рівень енергетичної безпеки для населення та місцевих спільнот – 0,2; V) вплив на створення та розвиток енергетичних спільнот і розширення громадського участі у енергетичних програмах – 0,1.

*Етап 4.* Розрахунок інтегральних показників за формулою вигляду (7)

$$g_{CO2} = \int_{0,5}^{1,5} \left[ 1 - K_{CO2} \left( \frac{T_i}{T_m} \right) \right] d \left( \frac{T_i}{T_m} \right) = 1 - \frac{K_{CO2}}{2}, \quad (7)$$

де  $g_{CO2}$  – ІІІ, за цією формулою розрахунку і здійснюється обчислення за кожним із п'яти значень:  $g_{CO2_I}$  – ІІІ впливу енергосистем на зайнятість населення;  $g_{CO2_{II}}$  – ІІІ вагомості вплив розвитку енергосистем на освіту та підготовку кадрів у сфері енергетики;  $g_{CO2_{III}}$  – ІІІ впливу енергосистем на доступність та ціни на енергетичні ресурси для населення;  $g_{CO2_{IV}}$  – ІІІ впливу на рівень енергетичної безпеки для населення та місцевих спільнот;  $g_{CO2_V}$  – ІІІ впливу розвитку енергосистем на створення та розвиток енергетичних спільнот і розширення громадського участі у енергетичних програмах.

*Етап 5.* Розрахунок  $U_{CO2}$  економічної стійкості ( $Q_{CO2}$ ) за урахування імовірності виникнення соціальних екстернальних ефектів за результатами розбу-

дови та введення у практику енергосистеми із елементами розподіленої генерації – за формулою вигляду (8):

$$Q_{\text{соц}} = g_{\text{соц}_I}^{0,3} + g_{\text{соц}_II}^{0,1} + g_{\text{соц}_III}^{0,3} + g_{\text{соц}_IV}^{0,2} + g_{\text{соц}_V}^{0,1} \quad (8)$$

*Етап 6.* Інтерпретація, отриманого за розрахунками, кількісного значення узагальненого інтегрального показника ( $Q_{\text{соц}}$ ) економічної стійкості енергосистем.

**Блок 4:** розрахунок композитного показника економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації – за алгоритмом у три етапи:

*Етап 1.* Визначення, за використання методу логічного проектування (МЛП) [7], вагових коефіцієнтів трьох узагальнених інтегральних показників, обчислених за урахування техніко-економічних, інституціональних та соціальних екстернальних ефектів, які імовірні для генерування за результатами введення на практиці нових енергосистем із елементами розподіленої генерації. Так, для: а) УПП<sub>ТЕ</sub> економічної стійкості за техніко-економічними параметрами – встановлено за МЛП коефіцієнт вагомості для  $W1 = 0,3$ ; б) УПП<sub>ІН</sub> економічної стійкості за інституціональними параметрами –  $W2 = 0,4$ ; в) УПП<sub>СОЦ</sub> економічної стійкості за соціальними па-

раметрами –  $W3 = 0,3$ . Відтак, загальна сума коефіцієнтів вагомості становить

$$W1 + W2 + W3 = 1.$$

*Етап 2.* Обчислення Композитного показника економічної стійкості енергосистем ( $Q_{\text{КПЕС}}$ ) за трьома базовими площинами (техніко-економічною, інституціональною, соціальною) за формулою вигляду (9)

$$Q_{\text{КПЕС}} = Q_{\text{ТЕ}}^{0,3} + Q_{\text{ІН}}^{0,4} + Q_{\text{СОЦ}}^{0,3} \quad (9)$$

*Етап 3.* Аналіз отриманих кількісних значень композитного показника економічної стійкості енергосистем для різних сценаріїв їхнього розвитку та умов функціонування національної соціально-економічної системи.

**Висновки.** Певним чином підсумовуючи викладене щодо використання єдиного критерію оцінки техніко-економічних, інституціональних та соціальних екстернальних ефектів у розрахунках за чотирма блоками виконання процедур, засвідчимо й підтвердимо про наступне: запропонований до використання методичний підхід до оцінки економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації за композитним показником має суттєві переваги у порівнянні з усталеними (табл. 7), серед яких найвагомішими є наступні:

Таблиця 7

**Переваги застосування методичного підходу не лише до оцінки економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації, а й для прогнозування<sup>1</sup>**

Переваги	Деталізація змістовності й опису переваг
Об'єктивність і компаративність	Методичний підхід до оцінки економічної стійкості енергосистем за композитним показником дозволяє порівнювати різні енергосистеми та аналізувати динаміку стійкості на основі єдиного критерію
Багатогранність	Методичний підхід враховує різні аспекти, такі як техніко-економічні, інституційні та соціальні фактори
Прогнозування та підготовка до змін	Методичний підхід дозволяє прогнозувати зрушення та підготуватися до можливих викликів та можливостей
Ідентифікація пріоритетів та стратегічне планування	Методичний підхід до оцінки економічної стійкості енергосистем за композитним показником сприяє обґрунтованому визначенню пріоритетів для покращення стійкості та розробці стратегічних планів розвитку
Гнучкість та адаптивність	Методичний підхід може бути адаптований до різних видів енергосистем та сценаріїв розвитку
Оцінка взаємозв'язків між факторами	Методичний підхід дозволяє виявляти причинно-наслідкові зв'язки між різними факторами, що впливають на стійкість енергосистем
Визначення слабких місць	За допомогою Методичного підходу можна виявити потенційні слабкі місця в енергосистемі з РГ та вжити заходів для їх усунення або мінімізації
Розвиток науково обґрунтованих рішень	Пропонований методичний підхід до оцінки економічної стійкості енергосистем сприяє прийняттю рішень, що базуються на наукових дослідженнях та комплексному експертному аналізі
Моніторинг та контроль	Використання Методичного підходу до оцінки економічної стійкості енергосистем дозволяє проводити регулярний моніторинг стійкості енергосистеми та контролювати результати
Підвищення конкурентоспроможності	Використання на практиці методичного підходу до оцінки економічної стійкості енергосистем за композитним показником сприятиме підвищенню конкурентоспроможності енергосистеми на ринку та створенню більш стійкої та ефективної інфраструктури

<sup>1</sup> Визначено, сформульовано, обґрунтовано та систематизовано переваги у табличному вигляді авторами даного дослідження.



1) багатогранність: методичний підхід враховує різні аспекти функціонування енергосистеми, включаючи техніко-економічні, інституціональні та соціальні фактори й екстернальні ефекти, що дозволяє отримати більш повну картину для забезпечення стійкості; 2) об'єктивність: використання єдиного критерію оцінки для обчислення композитного показника допомагає уникнути суб'єктивних впливів при оцінці економічної стійкості та елімінувати попередні тенденції; 3) системність: методичний підхід дозволяє аналізувати зв'язки між різними компонентами енергосистеми, що сприяє розумінню причинно-наслідкових зв'язків між факторами стійкості; 4) гнучкість: методичний підхід може бути адаптований для оцінки економічної стійкості різних видів енергосистем, що робить його універсальним та гнучким у використанні; 5) компаративність: завдяки єдиному критерію оцінки та композитному показнику можна порівнювати економічну стійкість

різних енергосистем, аналізувати динаміку їхньої стійкості протягом певного часу чи прогнозувати як відносні, так і абсолютні показники; 6) інформативність: методичний підхід дозволяє виявити проблемні зони та визначити пріоритети для покращення економічної стійкості, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Зважаючи на приведений перелік переваг щодо використання на практиці пропонованого дослідниками методичного підходу до оцінювання економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації за композитним показником, вважаємо за доцільне рекомендувати суб'єктам державного управління внести відповідні уточнення до окремих нормативно-правових актів і галузевих стандартів, які визначають діяльність національних суб'єктів господарювання в енергетичній сфері, зокрема, і до таких як [9-11].

### Література

- Гнатів А. В., Аргун Ш. В., Багач Р. В. та ін. Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2021. Вип. 20. С. 17 – 26. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02>.
- Череватський Д. Ю. Про екстернальну економіку вугледобувних гетерархій. *Економіка промисловості*. 2018. №4(84). С. 72 – 86. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.072>.
- Микитенко В. В. Дослідження екстернальних ефектів в енергосистемах із елементами розподіленої генерації. Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури» (25-26 травня 2023 року, Львів). Львів: Львівська політехніка, 2023. С. 51 – 53.
- Микитенко В. В. Розроблення методичного підходу до оцінки економічної стійкості енергосистем. *Менеджмент XXI століття: глобалізаційні виклики*: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції (18 травня 2023 р., м. Полтава). Полтава: Полтавський державний аграрний університет МОН України, 2023. С. 375 – 381, 486.
- Промисловість і промислова політика України 2013: актуальні тренди, виклики, можливості: наук.-аналітична доповідь / [Амоша О. І. та ін.]; за ред. В. П. Вишневого. Донецьк: ІЕП НАН України, 2014. 200 с.
- Ляшенко В. І., Ковчуга Л. І. Рівень інноваційної діяльності промислових підприємств: методичний підхід до оцінки. *Економіка промисловості*. 2018. № 4 (84). С. 87-101. DOI: <https://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.087>.
- Микитенко В. В., Демешок О. О., Худолей В. Ю. Прогнозування вимірів енергоефективності регіонального промислового виробництва з урахуванням масштабів розвиненості його стратегічного потенціалу. *Соціально-економічні проблеми і держава*, 2013. № 1 (06). С. 169 – 180. URL: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2013/13doosp.pdf>.
- Микитенко В. В. Формування комплексної системи управління енергоефективністю в галузях промисловості: монографія / Об'єднаний інститут економіки НАН України. Київ: Вид-во «Екс'Об.», 2005. 337 с.
- ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Чинний від 01.11.2011 р.]. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2011. 127 с.
- СОУ-Н МЕВ 40.1.00100227-68:2012 Стійкість енергосистеми. Керівні вказівки. [Чинний від 21.10.2012 р.]. Про затвердження нормативного документа Стійкість енергосистем. Керівні вказівки: Наказ від 23.07.2012 р. № 539. Київ: НТЦЕ НЕК Укренерго, 2012. 36 с.
- СОУ НЕК 20.261:2021 Стандарт підприємства. Технічна політика НЕК Укренерго у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж. [Чинний від 04.01.2021]. Київ: НТЦЕ НЕК Укренерго, 2021. 32 с.

### References

- Hnatov, A. V., Arhun, Sch. V., Bahach, R. V. et al. (2021). Analiz naibilsh poshyrenykh metodiv vyznachennia stiiikosti enerhetychnykh system [Analysis of the most common methods of determining the stability of energy systems]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnologii – Car and electronics. Modern technology*, 20, pp. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02> [in Ukrainian].
- Cherevatskyi, D. Yu. (2018). Pro eksternalnu ekonomiku vuhledobuvnykh heterarkhii [About the external economy of coal-mining heterarchies]. *Econ. promisl.*, 4 (84), pp. 72–86. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.072> [in Ukrainian].
- Mykytenko, V. V. (2023). Doslidzhennia eksternalnykh efektiv v enerhosystemakh iz elementamy rozpodilenoї heneratsii [Study of external effects in energy systems with elements of distributed generation]. *Problemy formuvannia ta rozvytku innovatsiinoї infrastruktury [Problems of Formation and Development of Innovative Infrastructure]*: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. (pp. 51–53). Lviv, Lvivska politekhnika [in Ukrainian].
- Mykytenko, V. V. (2023). Rozroblennia metodychnoho pidkhodu do otsinky ekonomichnoi stiiikosti enerhosystem [Development of a methodical approach to assessing the economic sustainability of energy systems]. *Menedzhment KhKhI stolittia: hlobalizatsiini vyklyky [Management of the 21st century: globalization challenges]*: Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference. (pp. 375 – 381, 486). Poltava, Poltava State Agrarian University of the Ministry of Education and Culture of Ukraine [in Ukrainian].

5. Amosha, O. I. et al. (2014). Promyslovist i promyslova polityka Ukrainy 2013: aktualni trendy, vyklyky, mozhlyvosti [Industry and industrial policy of Ukraine 2013: current trends, challenges, opportunities]. Donetsk, IIE of the National Academy of Sciences of Ukraine. 200 p. [in Ukrainian].
6. Liashenko, V. I., Kovchuha, L. I. (2018). Riven innovatsiinoi dialnosti promyslovykh pidpriemstv: metodychnyi pidkhd do otsinky [The level of innovative activity of industrial enterprises: methodical approach to assessing]. *Econ. promisl.*, 4 (84), pp. 87-101. DOI: <https://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.087> [in Ukrainian].
7. Mykytenko, V. V., Demeshok, O. O., Khudolei, V. Yu. (2013). Prohnozuvannya vymiriv enerhoefektyvnosti rehionalnoho promysloвого vyrobnytstva z urakhuvanniam masshtabiv rozvynenosti yoho stratehichnoho potentsialu [Prognostication of Measuring Energy Efficiency of Regional Industrial Production Taking into Account Scales of Developed of him Strategic Potential]. *Sotsialno-ekonomichni problemy i derzhava – Socio-Economic Problems and the State*, 1 (06), pp. 169–180. Retrieved from <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2013/13dooysp.pdf> [in Ukrainian].
8. Mykytenko, V. V. (2005). Formuvannya kompleksnoi systemy upravlinnia enerhoefektyvnosti v haluziakh promyslovosti [Formation of a complex energy efficiency management system in industries]. Kyiv, Publishing House "Ex'Ob.". 337 p. [in Ukrainian].
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivelna klimatolohiia [DSTU-N B V.1.1-27:2010. Building climatology]. (2011). Kyiv, Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine. 127 p. [in Ukrainian].
10. SOU-N MEV 40.1.00100227-68:2012 Stiikist enerhosystemy. Kerivni vказivky. (Chynnyi vid 21.10.2012 r.). Pro zatverdzhennia normatyvnoho dokumenta Stiikist enerhosystem. Kerivni vказivky: Nakaz vid 23.07.2012 r. № 539 [SOU-N MEV 40.1.00100227-68:2012 Energy system stability. Guidelines]. On the approval of the regulatory document Stability of power systems. Guidelines: Order dated July 23, 2012 No. 539]. (2012). Kyiv. NTCE NEK Ukrenergo. 36 p. [in Ukrainian].
11. SOU NEK 20.261:2021 Standart pidpriemstva. Tekhnichna polityka NEK Ukrenerho u sferi rozvytku ta ekspluatatsii mahstralnykh ta mizhderzhavnykh elektrychnykh merezh [SOU NEK 20.261:2021 Standard of the enterprise. Technical policy of NEC Ukrenergo in the field of development and operation of trunk and interstate electric networks]. (2021). Kyiv, NTTSE NEK Ukrenerho. 32 p. [in Ukrainian].

#### **Амоша О. І., Микитенко В. В. Методичний підхід до оцінювання стійкості енергосистем за композитним показником**

У статті запропоновано до використання кількісний методичний підхід до оцінки економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації (РГ) (його основу складає комплекс модельних вирішень завдань щодо відтворення й оцінювання різноспрямованих наслідків впровадження енергосистем із елементами розподіленої генерації) за композитним показником, розрахованим за єдиним критерієм оцінки, визнаних найвагомішими, техніко-економічних, інституціональних та соціальних екстернальних ефектів. Реалізація методичного підходу передбачає виконання економетричних і економіко-статистичних процедур за чотирма блоками. А, саме, розрахунок: I) узагальненого інтегрального показника за урахування техніко-економічних екстернальних ефектів і ключових аспектів функціонування енергосистем за алгоритмом у шість етапів; II) узагальненого інтегрального показника за урахування інституціональних екстернальних ефектів функціонування енергосистем за шістьма етапами; III) узагальненого інтегрального показника за урахування соціальних ефектів за шістьма етапами; IV) композитного показника економічної стійкості енергосистем із елементами розподіленої генерації – за алгоритмом у три етапи. Доведено суттєві переваги розробленого методичного підходу, зокрема, площині об'єктивності і компаративності, гнучкості та адаптивності, врахування взаємозв'язків між найвагомішими факторами, тощо.

*Ключові слова:* економічна стійкість енергосистем із елементами розподіленої генерації; екстернальні ефекти; методичний підхід до оцінювання; єдиний критерій оцінки; узагальнені інтегральні показники; композитний показник.

#### **Amosha O., Mykytenko V. Methodical Approach to Assessment of the Stability of Energy Systems Based on a Composite Indicator**

The article proposes to use a quantitative methodical approach for assessing the economic sustainability of energy systems with elements of distributed generation (DG) (its basis is a set of model solutions for tasks related to the reproduction and assessment of multidirectional consequences of the implementation of energy systems with elements of distributed generation) according to a composite indicator calculated according to a single evaluation criterion, recognized as the most significant, technical and economic, institutional and social external effects. The implementation of the methodological approach involves the implementation of econometric and economic-statistical procedures in four blocks. And, namely, the calculation of: I) the generalized integral indicator taking into account technical and economic external effects and key aspects of the functioning of power systems according to the six-stage algorithm; II) a generalized integral indicator taking into account the institutional external effects of the operation of power systems in six stages; III) a generalized integral indicator for taking into account social effects in six stages; IV) composite indicator of economic sustainability of energy systems with elements of distributed generation - according to the algorithm in three stages. The significant advantages of the developed methodological approach have been proved, in particular, the plane of objectivity and comparability, flexibility and adaptability, taking into account the relationships between the most important factors, etc.

*Keywords:* economic stability of energy systems with elements of distributed generation; external effects; methodical approach to assessment; a single evaluation criterion; generalized integral indicators; composite index.

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Стаття надійшла до редакції 05.06.2023