

Харазішвілі Юрій Михайлович 

д-р екон. наук, с.н.с., головний науковий співробітник
Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ,
Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ, Україна

Суходоля Олександр Михайлович 

доктор наук з державного управління, професор,
завідувач відділу
Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ, Україна

Рябцев Геннадій Леонідович 

доктор наук з державного управління, професор,
головний науковий співробітник
Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ, Україна

ЕКСПЕРТНО-МАТЕМАТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЕННЯ ВПЛИВУ ЗАГРОЗ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ БЕЗПЕЦІ У БЕЗПЕКОВОМУ ВИМІРІ

Реалізація цілей сталого розвитку в його безпековому вимірі узгоджується з цілями гарантування енергетичної стійкості будь-якої держави. З огляду на це, постають актуальні питання: а) як кількісно оцінити ймовірність і сукупні наслідки впливу загроз енергетичній безпеці; б) як убезпечити державу від можливого негативного впливу загроз; с) як забезпечити збереження чи відновлення траєкторії сталого розвитку, якщо нейтралізувати ці загрози в повному обсязі не вдасться.

Розгляд зазначених питань висвітлюється в найбільш відомих зарубіжних та вітчизняних працях [1-10]. Детальний аналіз використовуваних підходів довів, що суттєвими недоліками, окрім високої суб'єктивності експертного оцінювання, залишаються:

- відсутність суворої наукової методології ідентифікації рівня енергетичної безпеки, впливу загроз та методів протидії а також підходів до обґрунтування граничних значень індикаторів енергетичної безпеки;
- відсутність наукової методології стратегування рівня енергетичної безпеки;
- можливість порівнювати рівень енергетичної безпеки між досліджувальними країнами, але неможливість визначення об'єктивного стану безпеки/небезпеки через відсутність наукового обґрунтування градацій безпеки та їхнього кількісного виміру;
- постійність вагових коефіцієнтів та відсутність тіньових індикаторів при опису енергетичної безпеки;
- відсутність розуміння, що варто робити суб'єктові управління, щоб захиститися від негативних наслідків впливу загроз та/чи зменшити ймовірність їхнього настання;
- штучні, без будь-якого обґрунтування, градації матриці ризиків 5×5 , абстрактна бальна оцінка відносних наслідків і ймовірностей із розмитими межами (незначна – неістотна, середня – помірно висока тощо);
- огрублення (coarsening) негативних наслідків впливу загроз і ймовірностей їхнього настання (що необхідно, оскільки експертні оцінки іноді не потрапляють у градації матриці 5×5);
- відсутність розуміння, які індикатори безпеки і як саме варто змінити, щоб зберегти (відновити) бажані параметри функціонування держави та/чи проєктовану траєкторію її сталого розвитку, як основну мету моделювання;

– неможливість об'єктивного визначення впливу загроз на рівень безпеки (стійкості) через відсутність математичної моделі, що пов'язує сукупності ризиків, уразливостей і наслідків.

– відсутність механізму адаптування об'єкту дослідження до наслідків впливу загроз;

– неможливість наукового обґрунтування змін індикаторів об'єкту дослідження для збереження стійкості траєкторії сталого розвитку, як головної цілі дослідження.

У випадку, коли загрози безпосередньо присутні в описи системи індикаторів, пропонується методичний підхід до ідентифікації загроз сталого розвитку через поєднання визначення загроз з необхідністю дотримання меж безпечного існування динамічних економічних систем [9].

Для усунення визначених недоліків існуючих підходів застосовується сучасна методологія інтегрального оцінювання [9-10]. Ідентифікація рівня енергетичної безпеки (рис. 1) полягатиме у визначенні й формалізації множини індикаторів енергетичної безпеки; встановленні їхньої приналежності до стимуляторів або дестимуляторів; виборі форми інтегрального індексу енергетичної безпеки та його складових; виборі методу нормування; обґрунтуванні динамічних вагових коефіцієнтів; визначенні меж безпечного існування, тобто обґрунтуванні вектору граничних значень індикаторів; одночасній інтегральній згортці індикаторів та їхніх граничних значень; розрахунку граничних значень складових інтегрального індексу енергетичної безпеки у градаціях безпеки розширеного “гомеостатичного плато” [9, 10] та їхньому порівнянні з цільовими показниками.

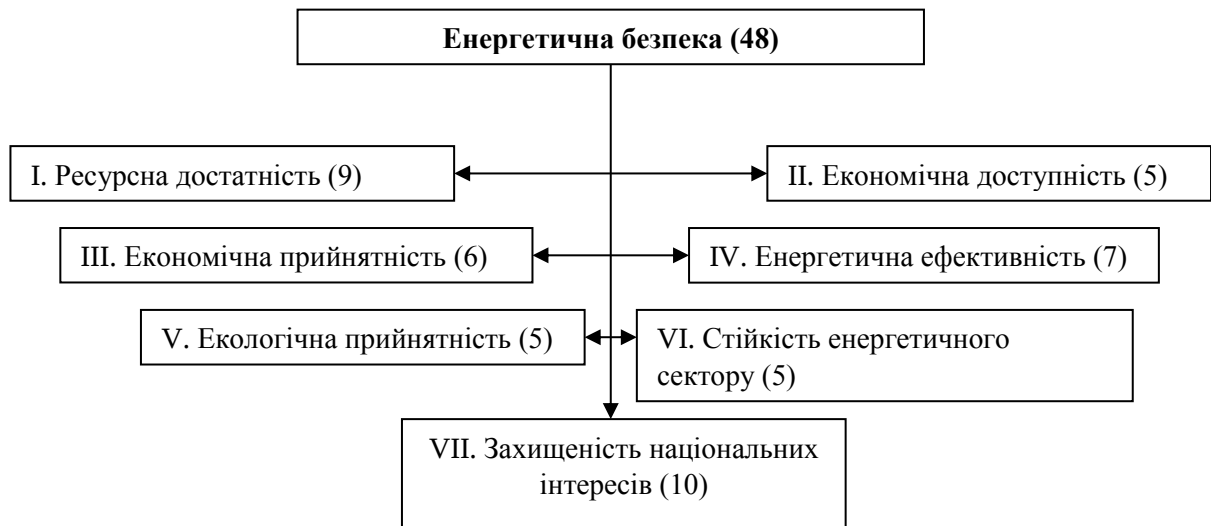


Рис. 1. Структурно-функціональна схема енергетичної безпеки
(у дужках – кількість індикаторів)

Математична модель енергетичної безпеки за визначеною методологією буде виглядати наступним чином (1) [10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{I-VII} = \prod_{k=1}^7 I_{k,t}; \quad P_{ij} = \prod_{j=1}^6 P_{ij}^{b_{ij}}; \quad P_{ij} = [P_{cr,ij}^l; P_{th,ij}^l; P_{opt,ij}^l; P_{opt,ij}^u; P_{th,ij}^u; P_{cr,ij}^u]; \\ I_{I,t} = \prod_{i=1}^9 z_{i,t}^{a_i}; I_{II,t} = \prod_{i=1}^5 z_{i,t}^{a_i}; I_{III,t} = \prod_{i=1}^6 z_{i,t}^{a_i}; I_{IV,t} = \prod_{i=1}^7 z_{i,t}^{a_i}; I_{V,t} = \prod_{i=1}^5 z_{i,t}^{a_i}; I_{VI,t} = \prod_{i=1}^5 z_{i,t}^{a_i}; I_{VII,t} = \prod_{i=1}^{11} z_{i,t}^{a_i}; \end{array} \right. \quad (1)$$

де k – кількість складових; I – кількість індикаторів; j – кількість градацій безпеки; P – вектор безпекових значень складових та індикаторів.

Отже, спочатку здійснюється інтегрально згортка кожної окремої складової, а потім – інтегральна згортка складових для отримання інтегрального індексу енергетичної безпеки.

Існує велика кількість внутрішніх та зовнішніх загроз енергетичній безпеці, відносно яких існує велика потреба визначення їхнього впливу, але їхнє визначення як індикаторів (відносних величин) є дуже складним або не завжди можливим. Тому способом визначення впливу таких загроз на рівень енергетичної безпеки залишаються експертні оцінки, які цілком виправдані у випадку неможливості застосування інших об'єктивних оцінок.

З метою оцінки впливу загроз експерти мають оцінити, наскільки упродовж певного часового періоду зміняться значення складових інтегрального індексу енергетичної безпеки під впливом кожної конкретної загрози. При цьому відомими є поточні й граничні значення складових інтегрального індексу за станом на певну дату, визначені за моделлю (1). На відміну від існуючих підходів [1-7] експертна оцінка впливу загрози здійснюється через аналіз їхнього впливу на змінення нормованих значень складових енергетичної безпеки відносно поточних значень на відміну від зміни абстрактних бальних оцінок [8].

Отже, аналіз впливу загроз на рівень енергетичної безпеки потребує проведення експертної роботи з оцінки впливу найрізноманітніших загроз. В такому випадку існує три можливих сценарію експертного оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки:

1) визначити експертно зміни всіх індикаторів (а їх 48) внаслідок дії конкретної загрози. Якщо припустити, наприклад, що кількість внутрішніх та зовнішніх загроз дорівнює 20, то експерту потрібно дати 960 (48 x 20) оцінок можливих змін індикаторів, що перевищує спроможності експерта, а тому є нездійсненним.

2) визначити експертно зміну лише одного інтегрального індексу енергетичної безпеки внаслідок дії конкретної загрози або загроз. Експертні оцінки та спроби математичного прогнозування динаміки інтегральних індексів за допомогою поліномів майбутнього стану дискредитує та вихолощує сутність пропонованого аналізу, а тому також є неприйнятними.

3) визначити експертно зміни складових енергетичної безпеки (а їх 7) внаслідок дії конкретної загрози. Цей сценарій виглядає найбільш прийнятним як з точки зору доступності для розуміння економічного змісту складових енергетичної безпеки експертами, так й за їх кількістю (7 x 20).

З урахуванням викладеного експертам пропонується визначити зміну складових інтегрального індексу енергетичної безпеки, якщо їм відомі поточні значення інтегральних індексів складових (I_t) та відповідні градації вектору граничних значень (критичні, порогові, оптимальні) для кожної загрози після нормування (табл.1).

Таблиця 1

Нормовані значення вектору граничних значень та складових інтегрального індексу енергетичної безпеки України в 2021 році

Група індикаторів	Нормовані значення вектору граничних значень та складових інтегрального індексу енергетичної безпеки						I_t
	$X_{кр}^н$	$X_{пор}^н$	$X_{opt}^н$	$X_{opt}^в$	$X_{пор}^в$	$X_{кр}^в$	
Ресурсна достатність	0.0852	0.1769	0.3580	0.5310	0.6990	0.8767	0.2896
Економічна доступність	0.1280	0.2877	0.4422	0.6650	0.8299	0.9252	0.4709
Економічна ефективність	0.2512	0.3593	0.4868	0.6693	0.8667	0.9695	0.2604
Енергетична ефективність	0.1484	0.3489	0.5246	0.6928	0.8098	0.8725	0.3723
Екологічна прийнятність	0.1037	0.2775	0.4506	0.6314	0.7649	0.8945	0.3211
Стійкість енергетики	0.2295	0.4437	0.6720	0.8207	0.8989	0.9571	0.5493
Захищеність національних інтересів	0.3596	0.5236	0.6662	0.7909	0.8719	0.9869	0.4458

Моделі розрахунку авторів

Для прикладу застосування експертно-математичного методу оберемо по дві найбільш характерні та сучасні у даний час загрози з переліку 20 внутрішніх та зовнішніх (табл. 2).

Таблиця 2

**Усереднені експертні оцінки сукупних негативних наслідків реалізації
загроз енергетичній безпеці (початок дії у 2022 р.)**

Загроза енергетичній безпеці	Усереднена оцінка для складових інтегрального індексу енергетичної безпеки						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>Внутрішні загрози енергетичній безпеці</i>							
Непрофесіоналізм у виробленні політики	0,2699	0,3306	0,2331	0,3566	0,3261	0,4986	0,4243
Втручання держави у функціонування ринків	0,2811	0,3465	0,2566	0,3443	0,3140	0,5129	0,4218
<i>Зовнішні загрози енергетичній безпеці</i>							
Військові дії	0,2813	0,4478	0,2517	0,3643	0,3157	0,5275	0,4322
Терористичні акти	0,2838	0,4618	0,2550	0,3670	0,3094	0,5395	0,4380

Взято з [10]

Використовуючи визначені експертами під впливом загроз зміни складових енергетичної безпеки у математичній моделі (1), отримаємо динаміку інтегрального індексу під впливом визначених загроз у 2022 році (рис. 2, а). За результатами розрахунків серед чотирьох розглянутих загроз найбільше впливають на рівень енергетичної безпеки загрози у такому порядку: 1. “Непрофесіоналізм у виробленні політики”, 2. “Втручання держави у функціонування ринків”, 3. “Військові дії” та 4. “Терористичні акти”.

Можна припустити, що у 2022 р. мали місце одночасно, як мінімум, три загрози: 1,3,4, що практично співпадає з прогнозованим рівнем енергетичної безпеки за наявними статистичними даними щодо паливно-енергетичного сектору, прогнозними оцінками та модельними розрахунками інших індикаторів.

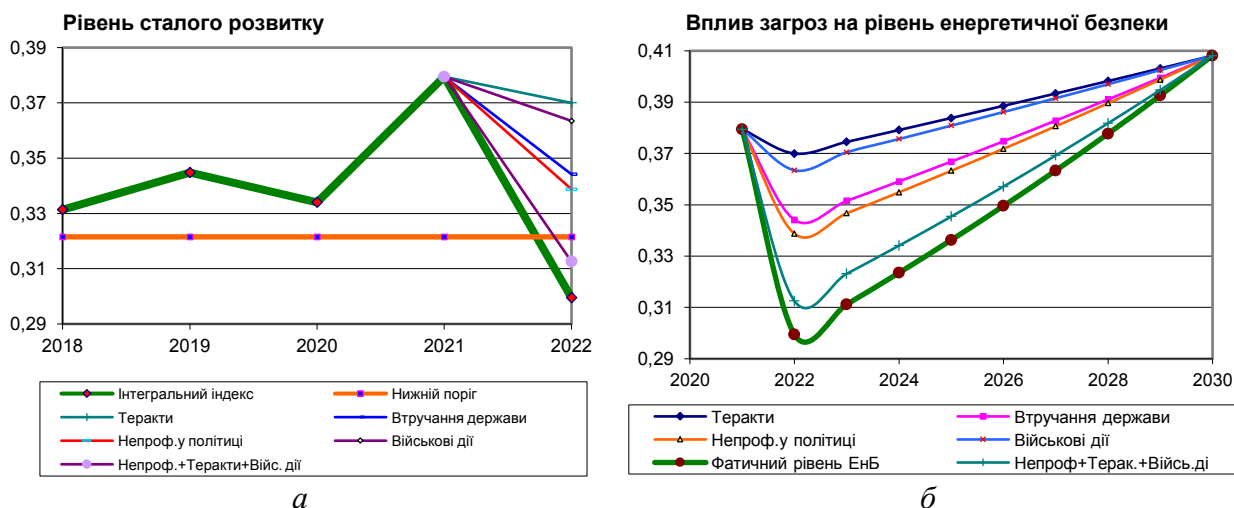


Рис. 2. Динаміка інтегрального індексу енергетичної безпеки під впливом загроз (а) та стратегічні сценарії досягнення цільових сценаріїв розвитку (б).

Будуючи з кожній точці інтегрального індексу внаслідок дії загроз у 2022 р. експоненційні траєкторії до заданій цілі, фактично забезпечуємо адаптивність (стійкість) енергетичної системи до впливу загроз. Звідси випливає ще одне важливіше завдання: як оцінити вплив загроз на індикатори енергетичної безпеки? Для цього пропонується використання адаптивних методів регулювання з теорії управління [10], які передбачають

вирішення завдання декомпозиції інтегральних індексів для синтезу значень індикаторів при відомих значеннях інтегральних індексів шляхом розв'язання зворотної задачі. При цьому, використовуються отримані для інтегральної згортки вагові коефіцієнти.

Висновки. Розроблено експертно-математичний метод кількісного оцінювання впливу зовнішніх і внутрішніх загроз на рівень енергетичної безпеки держави, який об'єднує експертні оцінки щодо зміни складових інтегрального індексу та формалізовані математичні розрахунки їхнього впливу на інтегральний індекс в цілому через модель енергетичної безпеки та на індикатори безпеки шляхом декомпозиції інтегральних індексів складових через застосування метода адаптивного регулювання з теорії управління.

Через вплив загроз порушується динаміка інтегрального індексу на визначеній раніше траєкторії сталого розвитку, тому актуальним є адаптування нової траєкторії для досягнення раніше визначених цілей сталого розвитку:

- для кожної наперед визначеної загрози шляхом експертного опитування визначаємо зміщення поточних значень кожної зі складових інтегрального індексу енергетичної безпеки відносно їхніх граничних значень, отримуючи прогнозні значення складових інтегрального індексу;

- за моделлю (1) здійснюємо інтегральну згортку прогнозних значень складових з урахуванням динамічних вагових коефіцієнтів, одержуючи прогнозне значення інтегрального індексу енергетичної безпеки;

- використовуючи нові значення інтегрального індексу під впливом загроз, будуюмо з нової точки бажані траєкторії розвитку системи для досягнення раніше встановлених цілей сталого розвитку;

- здійснюємо декомпозицію нових значень траєкторії інтегрального індексу, послідовно визначаючи нові траєкторії його складових, а через декомпозицію складових - траєкторії змінення окремих індикаторів енергетичної безпеки;

- визначаємо заходи державного регулювання, здатні змінити індикатори енергетичної безпеки так, щоб реалізувати чи відновити бажану траєкторію сталого розвитку.

Список використаних джерел:

1. Energy Trilemma Index. (2022) Available online: <https://trilemma.worldenergy.org> (accessed on 22 February 2023).
2. ISO 31000. Risk management. (2021) URL: <https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html>
3. U.S. Chamber of Commerce Global Energy Institute (2023). *International Energy Security Risk Index*. Available online: <https://www.globalenergyinstitute.org/international-energy-security-risk-index> (accessed on 22 February 2023).
4. Theocharidou, M., & Giannopoulos, G. (2015). *Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach*. European Commission, Joint Research Centre. Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/risk-assessment-methodologies-critical-infrastructure-protection-part-ii-new-approach>
5. Threat and Hazard Identification and Risk Assessment (THIRA). (2019) <https://www.fema.gov/emergency-managers/risk-management/risk-capability-assessment>
6. National Risk Assessments: A Cross Country Perspective. (2018) OECD Publishing, Paris, 304 з. <https://doi.org/10.1787/9789264287532-en>
7. UK Cabinet Office. (2020) National Risk Register, Available online: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/952959/6.692_0_CO_CCS_s_National_Risk_Register_2020_11-1-21-FINAL.pdf
8. Суходоля О.М., Рябцев Г.Л., Харазішвілі Ю.М. (2022) Методологія оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки. – *Вісник економічної науки України*. № 2 (41), 3-16. [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2\(41\)](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2(41))
9. Kharazishvili Y, Lyashenko V, Bugayko D, Ustinova I, Shevchenko O, Kalinin O. (2023) Justification of the identification of threats and problematic components of sustainable regional development in the security dimension. *E3S Web of Conferences* 408 01028 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340801028>
10. Суходоля О.М., Харазішвілі Ю.М., Рябцев Г.Л., (2023) Енергетична безпека України: перспективна модель управління ризиками. Київ : *НІСД*. 152 DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-book.2023.01> ISBN 978-966-554-361-9