

Метод оцінювання резильєнтності (швидкості відновлення) обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій

A method for assessing the resilience of international cooperation volumes in crisis situations

Марина Абрамова^A

Corresponding author: к.е.н., старший дослідник, провідний науковий співробітник, e-mail: elaira3@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7644-9988

Іван Гаврилук^A

к.військ. наук, старший дослідник, перший заступник Міністра оборони України, e-mail: ivan_havryliuk@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3514-0738

Юрій Клят^A

к.тех.н., доцент, начальник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, e-mail: klyatt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8267-3748

Сергій Митченко^B

доктор філософії, доцент кафедри стратегії національної безпеки та оборони, e-mail: serhii.mytchenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3711-2033

Олег Темний^B

ад'юнкт кафедри інформаційної боротьби інституту стратегічних комунікацій, e-mail: o.temnyi@edu.nuou.org.ua, ORCID ID: 0009-0009-3173-094X

Ярослав Янковий^B

ад'юнкт кафедри інформаційної боротьби, e-mail: ya.yankovyi@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1718-3607

Maryna Abramova^A

Corresponding author: PhD (Econom.), Senior Researcher, Leading Research Scientist, e-mail: elaira3@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7644-9988

Ivan Havryliuk^A

Ph.D., Associate Professor, First Deputy Minister of Defense of Ukraine, e-mail: ivan_havryliuk@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3514-0738

Yurii Kliat^A

Ph.D., Associate Professor, Head of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, e-mail: klyatt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8267-3748

Serhii Mytchenko^B

Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of National Security and Defense Strategy, e-mail: serhii.mytchenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3711-2033

Oleh Temnyi^B

PhD student of the Department of Information Warfare, Institute of Strategic Communications, e-mail: o.temnyi@edu.nuou.org.ua, ORCID ID: 0009-0009-3173-094X

Yaroslav Yankovyi^B

PhD student of the Department of Information Warfare, e-mail: ya.yankovyi@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1718-3607

^AЦентральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна

^BНаціональний університет оборони України, Київ, Україна

^ACentral Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^BNational Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 05, 2025 | Revised: October 25, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.3>

Мета роботи. Створити інструмент, який чисельно вимірює, як швидко й повно обсяги міжнародного співробітництва відновлюється після шоків.

Метод дослідження. Аналізу; синтезу; порівняння; формалізації та оцінювання матеріалу; абстрагування та кон'юнктурного аналізу (мислення).

Результати дослідження. Розроблено й математично формалізовано метод оцінювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва, який на базі стандартизованого агрегованого індексу дає змогу ідентифікувати фази криз, коректно обчислювати площі втрат та відновлення за можливого накладених криз без подвійного рахунку, і виводить безрозмірний інтегральний показник відновлення з чіткою інтерпретаційною шкалою (від відсутності/частковості відновлення до перевідновлення), що кількісно відображає швидкість і повноту посткризового відновлення.

Теоретична цінність дослідження. Даний запропонований інструмент дослідження може бути використаний під час академічних досліджень міждержавних/міжсекторних порівнянь резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва на базі єдиного індексу; моніторингу і діагностики кризових фаз та розмежування "вкладів" накладення криз; практичного використання як одного із обчислювальних інструментів більш широких наукових підходів.

Тип статті. Теоретичний.

Purpose. Create a tool that can measure quantitatively how quickly and fully international cooperation recovers after.

Method. Analysis; synthesis; comparison; formalization and evaluation of the material; abstraction and conjunctural analysis (thinking).

Findings. A method of assessing the resilience of volumes of international cooperation has been developed and mathematically formalised. Based on a standardised aggregate index, it is possible to identify crisis phases and correctly calculate areas of loss and recovery in the event of overlapping crises, without double counting. It also derives a dimensionless integral recovery indicator with a clear interpretation scale (from no/partial recovery to full recovery), which reflects the speed and completeness of post-crisis recovery quantitatively.

Theoretical implications. This proposed research tool can be used for academic research on interstate/intersectoral comparisons of the resilience of international cooperation volumes, based on a single index. It can also be used for monitoring and diagnosing crisis phases, and for distinguishing between the 'contributions' of overlapping crises. Furthermore, it can be used as a computational tool within broader scientific approaches.

Paper type. Theoretical.

Ключові слова: міжнародне співробітництво, резильєнтність, відновлення, кризові ситуації, криза, шок.

Key words: international cooperation, resilience, crisis, shocks.

Вступ

Глобальна взаємозалежність має безпосередній вплив на стан міжнародного співробітництва, що робить його чутливим до впливу шоківих ситуацій: війни, пандемії, фінансові та енергетичні кризи швидко відбиваються на торгівлі, інвестиціях, наукових проєктах і безпекових домовленостях. У таких умовах важливо не тільки зафіксувати спад, а й своєчасно оцінити траєкторію відновлення: коли падіння зупиняється, якою була глибина втрат, наскільки рівномірним є повернення та чи сягає воно докризового рівня. Для прийняття рішень потрібні прозорі, відтворювані процедури вимірювання, які дають змогу порівнювати різні показники та сектори, враховувати різний напрям їх впливу і ситуації накладання кількох криз. Отримані оцінки можна застосовувати для регулярного моніторингу, порівнянь між країнами або секторами, а також для оцінювання ефективності заходів підтримки й коригування політик у кризовий період.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичні основи дослідження спираються на саме визначення поняття резильєнтності – як спроможності системи протистояти шоку, обмежувати втрати та відновлювати функціонування; при цьому доцільно розрізнити “миттєву” (зменшення негайних втрат) і “динамічну” (швидкість відновлення) компоненти [1]. У економіці резильєнтність розглядають з таких сторін, як: глибина спаду, швидкість і характер відновлення, а також можливу зміну траєкторії зростання після шоку [2]. Інженерні підходи узагальнюють ці ідеї через “трикутник резильєнтності”: інтегральні втрати під кривою продуктивності та скорочення часу до нормалізації [3].

Для вимірювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва (торгівля, інвестиції, НДДКР, допомога) важливо враховувати, що кризи часто накладаються (пандемія, енергетичні/цінові шоки, війна), а відновлення є нерівномірним між регіонами й секторами; що підтверджують глобальні звіти щодо стійкості світової торгівлі та наслідків COVID-19 [7–9]. Щодо даних розміщених у них попри падіння товарообігу у 2020–2024 рр., канали співпраці поступово відновлюються, але вразливість до геополітичної фрагментації й логістичних збоїв зберігається – тому потрібні інструменти, що фіксують і швидкість, і повноту повернення [8; 7] до необхідного рівня.

Методичною основою для побудови інтегральних оцінок служить підхід композитних індексів: ретельний добір показників, стандартизація, урахування знаку впливу, вагове агрегування, аналіз чутливості; ці кроки забезпечують порівнянність у часі та між об’єктами [4]. Для динамічного виміру швидкості відновлення застосовні підходи, що трактують резильєнтність як функцію часу: метрики на основі форми кривої “функціонування-час”, включно з інтегральними площами втрат і відновлення та часовими позначками досягнення докризового рівня [5; 3; 6]. Результати використання таких інструментів відображають як темп повернення, так і його повноту, що критично для інтерпретації міжнародного співробітництва.

Натомість вітчизняні дослідження останніх років конкретизують понятійний апарат і прикладні вимоги вимірювань в умовах воєнних шоків: підкреслюють потребу у наявності зрозумілих індикаторів спаду/відновлення, необхідність відстеження накладання криз [10–12]. Вказано, що для України важливо поєднувати індексні підходи з фазовою ідентифікацією шоків і порівняннями між секторами/регіонами для підтримки політик відновлення [10–11].

Постановка проблеми

У сучасному Світі, де війни, енергетичні зброї, пандемії та фінансові кризи дедалі частіше накладаються одна на одну, обсяги міжнародного співробітництва в торгівлі, інвестиціях, спільних проєктах і наукових обмінах змінюються не лише за рівнем падіння, а й за тим, як

швидко і наскільки повно вони повертаються до нормальної роботи, тоді як у щоденній практиці здебільшого відображено лише поточний стан (спад), але не пояснюється, коли він зупиниться, скільки часу триватиме відновлення і чи повернеться попередня траєкторія динаміки параметра.

Вирішення подібної проблематики ускладнюється тим, що немає спільно прийнятого способу вимірювати швидкості та повноти такого повернення саме для міжнародної взаємодії: показники походять із різних джерел і мають різні одиниці виміру, дані надходять із затримками або з прогалинами, а кілька криз можуть діяти одночасно, змішуючи впливи та збиваючи з пантелику навіть уважного аналітика, через що урядовці, донори й бізнес часто змушені ухвалювати рішення з неповною інформацією або надто пізно. Саме тому актуальним є створення єдиного підходу до оцінювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій, який дозволив би говорити єдиною мовою цифр про темп і повноту відновлення в різних країнах і секторах, своєчасно помічати переломні моменти, розмежовувати вплив різних шоків без подвійного рахунку, краще узгоджувати очікування з міжнародними партнерами та пріоритезувати заходи підтримки й ресурси, тобто перейти від фрагментарних спостережень до планування дій під час кризи та після неї.

Результати

Оцінювання швидкості відновлення обсягів міжнародного співробітництва після зовнішніх та внутрішніх шоків залишається актуальною задачею для сучасної економічної науки та практики, тому часті кризові явища, структурні дисбаланси та зростаюча непередбачуваність зовнішнього середовища вимагають удосконалення підходів за цим напрямком досліджень. А результати аналізу досвіду останніх років, зокрема України, підтверджують необхідність розробки інструментарію, який дозволяє не лише фіксувати динаміку основних показників ІС під час кризових ситуацій, тому запропонований метод оцінювання резильєнтності (швидкості відновлення) обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій (далі в цьому підрозділі – Метод), який дозволяє враховувати релевантність (достатню чутливість до кризових явищ, що дає змогу ідентифікувати як гострі фази шоку, так і періоди поступового відновлення).

Перший етап: формування матриці вхідних даних.

Формування інформаційної (статистичної) бази починається з відбору переліку статистично доступних показників міжнародного співробітництва (ІС від англ. “International Cooperation”).

Після цього здійснюється попередній експертний статистичний відбір показників за такими критеріями:

релевантність (достатня чутливість до кризових явищ, що дає змогу ідентифікувати як гострі фази шоку, так і періоди поступового відновлення); повнота і безперервність (щонайменше десятирічний, а краще – двадцятирічний період, що охоплює передкризовий, кризовий і посткризовий інтервали);

відсутність мультиколінеарності (парний коефіцієнт кореляції для будь-якої пари має не перевищувати значення 0,85, що забезпечує унікальність інформації, яку вони несуть).

Для кількісного забезпечення вхідних даних формується відповідна матриця показників ІС:

$$X_{h,t} = \begin{pmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,T} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \dots & X_{n,T} \end{pmatrix},$$

де $X_{i,t}$ – це значення i -го показника у t -ий період;
 N – кількість обраних показників;
 T – кількість часових періодів (років, кварталів тощо);
 h – номер показника від (1 до N).

Проводиться детекція та обробка екстремальних, тобто аномальних значень, що можуть суттєво викривити результати стандартизації та обчислення агрегованого показника, а отже, вплинути на коректність оцінки резильєнтності. Для кожного ряду обчислюється його усереднене арифметичне значення: $\bar{X}_h = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_{h,t}$ та стандартне відхилення: $\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X_{h,t} - \bar{X}_h)^2}$. Далі для кожного спостереження перевіряється умова: $|X_{h,t} - \bar{X}_h| > 3\sigma_h$, тобто виявляються такі періоди, коли абсолютне відхилення показника перевищує три стандартних відхилення від середнього значення. У випадку виявлення аномалії дане значення може бути або вилучено, або замінено середнім із сусідніх значень, або скориговано відповідно до експертного рішення щодо природи викиду.

Отже важливим аспектом формування базової матриці даних є перевірка відсутності суттєвої мультиколінеарності між показниками, оскільки надмірна кореляція між рядами може призвести до подвійного рахунку інформації та спотворення підсумкового показника. Для цього для кожної пари показників (X_i, X_d) обчислюється парний коефіцієнт кореляції Пірсона (з урахуванням тільки тих періодів, де дані присутні для обох рядів):

$$r_{h,d} = \frac{\sum_{t=1}^T (X_{h,t} - \bar{X}_h)(X_{d,t} - \bar{X}_d)}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (X_{h,t} - \bar{X}_h)^2 \sum_{t=1}^T (X_{d,t} - \bar{X}_d)^2}},$$

і у випадку, якщо $r_{i,d} > 0,85$, один із показників (зазвичай менш економічно значущий або з менш повною вибіркою) підлягає вилученню.

Проводиться оцінювання динамічності кожного з показників, що відбираються, з метою гарантувати, що у періоди кризових ситуацій вони проявляють достатню реакцію (волатильність), і можуть виступати індикаторами змін. Для цього вводиться критерій відносної амплітуди динаміки:

$$A_h = \frac{\max_t X_{h,t} - \min_t X_{h,t}}{\bar{X}_h},$$

де A_h – коефіцієнт амплітуди i -го показника. Якщо відносна амплітуда за обраний період становить менше 10% (тобто $A_h < 0,1$), такий показник вважається надто інерційним і малочутливим до зовнішніх шоків, отже, доцільно його вилучити із фінального списку.

Важливим є виявлення та оцінювання пропусків у часових рядах для кожного показника ІС, що позначається як $X_{h,t}$ де показник h ($h=1,2,\dots,N$) відповідає порядковому номеру показника у фінальному масиві, а показник t ($t = 1,2,\dots,T$) – номеру періоду у досліджуваному часовому інтервалі, будується булева матриця наявності даних $B_{h,t}$, де $B_{h,t} = 1$, якщо значення відсутнє (тобто є пропуск), та $B_{h,t} = 0$, якщо значення присутнє. Далі для кожного показника підраховується сумарна кількість пропусків: $L_h = \sum_{t=1}^T B_{h,t}$ і визначається частка пропусків відносно довжини часової вибірки: $q_h = \frac{L_h}{T}$, де q_h – це частка пропусків для показника і за весь період аналізу. У разі якщо $q_h > 0,1$ (тобто понад 10% спостережень відсутні), приймається рішення або про виключення такого показника з подальшого аналізу, або, якщо його теоретична значущість є критичною, застосовуються спеціалізовані методи відновлення пропущених даних – поліноміальна інтерполяція.

Неоднорідність економічного змісту отриманих рядів змінних і потреба в уникненні методологічних суперечностей при подальшій стандартизації, агрегуванні та інтерпретації результатів потребує категоризації значень показників. З цією метою для кожного ряду, що пройшов попередні етапи фільтрації, очищення й перевірки, і позначається у подальшому як $X_{h,t}^*$ (де h – індекс показника, що змінюється від 1 до N , а t – індекс періоду, що змінюється від 1 до T), здійснюється присвоєння ознаки напряму впливу на інтегральний показник за допомогою спеціального знаку коригування $знак_h$). Дана ознака відіграє роль мультиплікатора, що приводить усі стандартизовані значення до інтерпретації у сенсі “чим вище – тим краще” для резильєнтності.

Таким чином, ознака напряму впливу для кожного показника h визначається за наступним критерієм:

$$знак_h = \begin{cases} +1, & \text{якщо зростання } h \text{ підвищує резильєнтність} \\ -1, & \text{якщо зростання } h \text{ є ознакою підвищення кризових явищ} \end{cases}$$

До першої групи, яка отримує знак “+1”, належать усі ті показники, для яких підвищення у часовому ряді історично асоціюється з економічною стабільністю, потенціалом розвитку та швидкістю відновлення після криз, а саме: обсяги гуманітарної підтримки, обсяг імпорту, кількість спільних міжнародних проєктів тощо. Натомість друга група (із знаком “-1”) складається з показників, зростання яких, навпаки, означає посилення негативних тенденцій – наприклад, обсяг скасованих міжнародних угод, відтік прямих іноземних інвестицій, зростання невиконаних зобов’язань за міжнародними контрактами тощо.

Щоб уникнути плутанини та забезпечити однозначність формулювання у рамках всього Методу для позначення даної ознаки категоризації використовується саме індекс $знак_h$, що дозволяє чітко відрізнити її від інших математичних позначень, застосованих у попередніх та наступних підетапах Методу, таких як середні значення, стандартні відхилення, амплітуди чи коефіцієнти кореляції.

З огляду на те, що навіть найбільш фундаментальні показники IC , які було відібрано, очищено та категоризовано в попередніх етапах (що у даному пункті позначаються як $Q_{h,t}$, де індекс h відображає всі показники від 1 до N , а індекс t відповідає номеру періоду у часовому ряді від 1 до T), можуть мати різні діапазони варіації, різні порядки величин і відрізнятися рівнем волатильності, тому виникає необхідність привести їх до такої шкали, де кожен показник вносить у підсумковий показник інформацію пропорційно власній динаміці, а не величині чи одиниці виміру.

З цією метою здійснюється стандартизація даних шляхом обчислення для кожного $Q_{h,t}$ його відхилення від середнього арифметичного $X_h^{(cm)}$, поділеного на стандартне відхилення ϑ_h , додатково скоригованого за напрямом економічного впливу $знак_h$:

$$Z_{h,t}^{(cm)} = знак_h \cdot \frac{Q_{h,t} - \bar{X}_h^{(cm)}}{\vartheta_h}$$

- де $Z_{h,t}^{(cm)}$ – стандартизоване та спрямоване значення h -го показника у t -ий період, яке відтепер є безрозмірною величиною, що дозволяє проводити коректні статистичні операції над усіма рядами;
- $Q_{h,t}$ – очищене, відфільтроване й категоризоване значення h -го показника IC у t -ий часовий період;
- h – індекс показника (від 1 до N);
- $знак_h$ – напрям впливу (категоризація) h -го показника, тобто “+1”, якщо зростання покращує резильєнтність, і “-1”, якщо зростання погіршує;

$\bar{X}_h^{(CT)}$ – середнє арифметичне для h -го ряду, що визначається наступним чином:
 $\bar{X}_h^{(CT)} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^T Q_{h,t}$, ϑ_h – стандартне відхилення для h -го ряду, що
 розраховується за формулою: $\vartheta_h = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Q_{h,t} - \bar{X}_h^{(CT)})^2}$.

Такий підхід гарантує, що у подальших розрахунках – незалежно від того, чи відображає показник грошові потоки, фізичні обсяги виробництва, демографічні або фінансові характеристики, – всі стандартизовані ряди мають нульове середнє значення, одиничну дисперсію і, головне, є співмірними між собою в сенсі “сили” відхилення у кожному періоді.

Особливу увагу в даному процесі приділяється саме коригуванню на напрям економічного впливу через множник $знак_h$, завдяки чому, незалежно від початкового смислу показника, позитивне відхилення $Z_{h,t}^{(cm)}$ у будь-якому періоді однозначно інтерпретується як посилення резильєнтності економіки, а негативне – як її ослаблення, що є критично важливим для коректної побудови агрегованого показника та подальшого якісного аналізу динаміки економічних процесів у кризових фазах.

Результатом цього етапу є формування нової матриці стандартизованих значень $\{Z_{h,t}^{(cm)}\}$, яка служить інформаційною основою для всіх наступних етапів, зокрема для зважування, агрегування і побудови інтегральної синтетичної оцінки резильєнтності.

Другий етап: визначення ваг показників у матриці.

Після того як на попередньому етапі була здійснена ретельна підготовка масиву показників ІС, проведена стандартизація та враховано їх категорійну спрямованість, для подальшого формування інтегрального показника резильєнтності принципово важливим елементом є визначення ваг кожного з показників. З цією метою у рамках цього етапу пропонується використання підходу експертного оцінювання, що дозволяє інтегрувати якісну й кількісну експертизу представників різних галузей, таким чином підвищуючи наукову валідність кінцевого розподілу вагових коефіцієнтів.

В організаційному плані процедура експертного оцінювання передбачає формування цільової групи експертів, яка за мінімальним складом має містити не менше 10-ти учасників ($E \geq 10$), а з урахуванням складності аналізованої економічної системи та мультидисциплінарної природи дослідження – оптимально 15–20 осіб, причому кожний експерт (e , де $e=1,2,\dots,E$) повинен мати підтверджену кваліфікацію та/або досвід у сфері воєнної економіки, державного управління, фінансів, промисловості, інституційного аналізу чи інших релевантних галузей. Надалі, з метою уникнення будь-яких ризиків упередженості, рекомендується забезпечити анонімність процесу подання експертних оцінок, а також застосовувати Delphi-підхід із не менше ніж двома раундами узгодження.

Формально, кожен експерт e формує свій власний вектор попередніх (поп) вагових коефіцієнтів: $w_{(e)}^{(pop)} = [w_{1,e}^{(pop)}, w_{2,e}^{(pop)}, \dots, w_{N,e}^{(pop)}]$, із додержанням умови нормування: $\sum_{h=1}^N w_{h,e}^{(pop)} = 1$, де $w_{h,e}^{(pop)}$ – вага, призначена i -му показнику e -м експертом, і така нормалізація є необхідною для забезпечення математичної коректності подальшого агрегування, а N – кількість показників, визначена на попередніх етапах.

Рівень згоди визначався за допомогою критерію середньоквадратичного відхилення для кожного показника: $\delta_h = \sqrt{\frac{1}{E} \sum_{e=1}^E (w_{h,e}^{(pop)} - \bar{w}_h^{(pop)})^2}$, де $\bar{w}_h^{(pop)} = \frac{1}{E} \sum_{e=1}^E w_{h,e}^{(pop)}$, є середньою (нефінальною) вагою для h -го показника серед усіх експертів. Процес ітерацій вважається завершеним, якщо для всіх h $\delta_h < \varepsilon$, де ε – це заданий поріг консенсусу (наприклад, 0,1 або 10% ваги).

Варто зауважити, що такий підхід дозволяє інтегрувати в математичну модель як об'єктивну статистичну інформацію про динаміку та структуру показників (що закладено у стандартизованих рядах $Z_{h,t}^{(cm)}$) так і структурні уявлення професійної спільноти про актуальні ризики, пріоритети розвитку та проблематику, яка не завжди відбиваються в числових рядах, але суттєво впливають на стратегічну стійкість.

Результатом виконання цього етапу є строго визначений вектор фінальних вагових коефіцієнтів $w = [w_1, w_2, \dots, w_N]$, який у подальшому використовується для математично коректного формування агрегованого інтегрального показника ІС.

Третій етап: визначення агрегованих показників ІС в певний час t .

Після завершення попередніх етапів, на яких було сформовано, очищено, категоризовано, стандартизовано та зважено часові ряди показників ІС (а саме: було отримано матрицю стандартизованих, спрямованих значень $Z_{h,t}^{(cm)}$ для всіх $h=1, \dots, N$ показників у кожному з $t=1, \dots, T$ періодів, а також узгоджений вектор вагових коефіцієнтів $w = [w_1, w_2, \dots, w_N]$). З метою інтеграції цієї багатовимірної інформації в єдиний синтетичний показник, який би репрезентував динаміку ІС за всіма обраними критеріями, здійснюється побудова агрегованого показника. Саме цей показник дозволяє не лише забезпечити компактність аналізу, але й слугує універсальною базою для подальшої ідентифікації кризових фаз, оцінки втрат, відновлення та комплексної оцінки резильєнтності.

Отже, для кожного періоду часу t виконується підсумовування всіх стандартизованих, спрямованих та зважених значень показників за такою повною математичною формулою:

$$I_t^{agp} = \sum_{n=1}^N w_n \cdot Z_{h,t}^{(cm)},$$

де I_t^{agp} – агрегований показник ІС у t -ий період; w_h – фінальна експертна вага h -го показника, з умовою нормування $\sum_{n=1}^N w_n = 1$; $Z_{h,t}^{(cm)}$ – стандартизоване, спрямоване значення i -го показника у t -ий період.

Таким чином, кожного разу, коли ми оцінюємо ІС у певний період t , всі підготовлені та стандартизовані і показники ІС враховуються у вигляді безрозмірних відхилень від своїх середніх значень, додатково коригуються на знак впливу $знак_h$, і кожний з них вносить свій вклад до підсумкового показника пропорційно експертно визначеній вазі w_h . Всі ці добутки підсумовуються, формуючи значення I_t^{agp} , яке однозначно характеризує інтегральний ІС у цей період.

Результатом цього етапу є динамічний ряд агрегованих показників: $I^{(agp)} = [I_1^{(agp)}, I_2^{(agp)}, \dots, I_T^{(agp)}]$ що є математичною основою для ідентифікації кризових фаз, розрахунку площ втрат та відновлення, а також для визначення фінального показника резильєнтності у наступних підрозділах Методу. А завдяки уніфікованому підходу до позначення часу (t), забезпечується абсолютна логічна цілісність, прозорість і математична коректність всіх етапів комплексного алгоритму, а також збереження однозначності інтерпретації отриманих результатів на будь-якому рівні подальшого аналізу.

Четвертий етап: оцінювання масштабів кризових ситуацій.

На цьому етапі, використовуючи отриманий на попередньому кроці агрегований показник $I^{(agp)}$, для всіх часових точок t ($t=1, \dots, T$) було проведено формалізовану ідентифікацію трьох ключових моментів у часовому ряді, що визначають структурну логіку кризового циклу:

1. Визначення моменту початку кризи (t_0).

Початком фази спаду визначається період часу t_0 , для якого агрегований показник демонструє різке негативне відхилення від попереднього тренду. Для цього формалізовано обчислюється приріст показника між двома сусідніми періодами: $\Delta I_t^{(agp)} = I_t^{(agp)} - I_{t-1}^{(agp)}$.

Період t_0 визначається як найменший параметр часу, для якого приріст є меншим за наперед встановлений поріг спаду η (який задається як від'ємне число, в цьому випадку, $-0,5$ стандартних відхилень): $t_0 = \min \left\{ t \mid \Delta I_t^{(azp)} < \eta \right\}$, де η – поріг спаду (встановлюється залежно від характеру даних та мети дослідження), а $\min\{\cdot\}$ – означає, що обирається перший період, коли відбувається істотне зниження показника.

2. Визначення “дна” кризи (t_{min}).

Після фіксації початку кризи слід визначити момент часу, коли економіка досягає мінімального значення агрегованого показника (тобто фіксується найглибша точка спаду, або “дно” кризи): $t \arg \min_{t \in [t_0, T]} I_t^{(azp)}$.

Тут “arg min” означає, що обирається той параметр часу t на відрізку від t_0 до кінця аналізованого періоду T , для якого значення $I_t^{(azp)}$ є мінімальним.

3. Визначення моменту завершення (t_{end}).

Момент завершення фази кризової ситуації, або початок відновлення, визначається як найменший параметр часу після “дна” (t_{min}), у якому агрегований показник повертається до свого докризового рівня, тобто перевищує або дорівнює значенню, зафіксованому на початку кризи $I_{t_0}^{(azp)}$: $t_{end} = \min \left\{ t > t_{min} \mid I_t^{(azp)} \geq I_{t_0}^{(azp)} \right\}$. Якщо протягом періоду аналізу такого моменту не виявлено (ІС не повернувся до докризового рівня), тоді за t_{end} береться фінальний момент аналізу T : $t_{end} = T$, якщо $\nexists t > t_{min} \mid I_t^{(azp)} \geq I_{t_0}^{(azp)}$.

Результатом виконання цього етапу є математично чітко визначені три часові мітки t_0 , t_{min} , t_{end} які поділяють часовий ряд агрегованого показника на відповідні фази: фаза спаду (від t_0 до t_{min}), фаза найглибшого шоку (точка t_{min}), фаза відновлення (від t_{min} до t_{end}). Саме ці часові межі стають базою для кількісного розрахунку площ втрат, відновлення та наступної синтетичної оцінки резильєнтності ІС, а також є інтерпретаційною основою для сценарного аналізу політики подолання криз.

На цьому етапі для кожної з K криз (які можуть накладатися одна на одну у часовому ряді, $k=1, \dots, K$), було введено спеціальну матрицю належності $D_{h,k}$, яка дозволяє формалізувати зв'язок між кожним показником ІС та кожною кризовою ситуацією. Конкретно, елемент матриці $D_{h,k}$ визначається як:

$$D_{h,k} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h - \text{й показник є релевантним для } k - \text{ї кризи,} \\ 0, & \text{інаше} \end{cases}$$

де $h=1, \dots, N$ – індекс показника, $k=1, \dots, K$ – індекс кризи.

Для кожної кризи k фіксуються її часові межі: $t_0^{(k)}$ – початок, $t_{min}^{(k)}$ – дно, $t_{end}^{(k)}$ – завершення (які визначаються за тією ж формальною процедурою, як і для базового показника, але з урахуванням специфіки конкретного піднабору показників).

Для кожного періоду часу t може бути релевантною (активною) більш ніж одна криза. Множина криз, що накладаються у періоді t , позначається як $K_t = \left\{ k \mid t_0^{(k)} \leq t \leq t_{end}^{(k)} \right\}$. Усі показники, що входять до складу накладених криз у періоді t , об'єднуються у множину $MN_t = \cup_{k \in K_t} \{h \mid D_{h,k} = 1\}$.

Щоб уникнути подвійного рахунку одного і того ж показника у різних кризових ситуаціях (адже один і той же i може входити у декілька $D_{h,k}$ при обчисленні втрат або приросту у кожному періоді t для відповідного показника враховується лише один раз абсолютне відхилення від докризового рівня (наприклад, у вигляді середнього або максимального ефекту, залежно від концепції аналізу).

Розгорнуті математичні формули для площ спаду і зростання з урахуванням накладання криз:

Для площі втрат у період накладання криз (від англ. *Loss Area*):

$$LA = \sum_{t=t_0^*}^{t_{min}^*} (I_{t_0^*}^{(azp)} - I_t^{(azp)}) \cdot \Delta t$$

де t_0^* – мінімальний із усіх моментів початку активних криз у досліджуваному періоді
 $t_0^* = \min_k^{(k)} t_0^*$;

t_{min}^* – максимальний із усіх моментів досягнення “дна” для криз $t_{min}^{*max(k)}$;

$I_{t_0^*}^{(arp)}$ – агрегований показник у моменті початку першої кризи.

Аналогічно для площі зростання (від англ. *Recovery Area*):

$$RA = \sum_{t=t_{min}^*}^{t_{end}^*} (I_t^{azp} - I_{t_0^*}^{azp}) \cdot \Delta t,$$

де $t_{min}^{*max(k)}$ та $I_t^{(azp)}$ – агрегований показник у поточному періоді t .

Тут підсумок ведеться по всіх періодах, коли активні накладені кризові ситуації, а для показників, що входять до більш ніж однієї кризи одночасно, кожне відхилення враховується лише один раз.

Обрахування площ для кожної кризи окремо (без накладання):

$$LA^{(k)} = \sum_{t=t_0^{(k)}}^{t_{min}^{(k)}} (I_{t_0^{(k)}}^{(azp,k)} - I_t^{(azp,k)}) \cdot \Delta t, \quad RA^{(k)} = \sum_{t=t_{min}^{(k)}}^{t_{end}^{(k)}} (I_t^{(azp,k)} - I_{t_0^{(k)}}^{(azp,k)}) \cdot \Delta t,$$

де $I_t^{(arp,k)}$ – агрегований показник, розрахований лише для показників, які входять до k -ї кризи;

LA – показник втраченого потенціалу;

RA – показник відновленого потенціалу.

Підсумкові площі спаду і зростання для всього періоду та всіх криз (якщо потрібно):

$$LA = \sum_{k=1}^K LA^{(k)} \quad \text{та} \quad RA = \sum_{k=1}^K RA^{(k)}.$$

Виконання цієї процедури дозволяє унаочнити, порівняти та кількісно оцінити як сукупний ефект декількох накладених криз, так і розмежувати їх “внески” у зміну агрегованого показника ІС, уникнувши подвійного рахунку для спільних показників, а також створює математичну основу для оцінки резильєнтності.

П'ятий етап: розрахунок показника резильєнтності.

На основі розрахованих площ втрат і зростання розрахований кількісний показник відновлення (ES , від англ. “*Economic Sustainability*”) визначається як їх відношення, що у повному розгорнутому вигляді має вигляд:

$$ES = \begin{cases} \frac{RA}{LA}, & \text{якщо } LA > 0 \\ \text{невизначено (криза відсутня)}, & \text{якщо } LA = 0 \end{cases}$$

де ES – кількісний показник відновлення;

LA – площа втрат;

RA – площа відновлення.

Отриманий показник ES є безрозмірною величиною, яка кількісно характеризує відносну повноту та ефективність відновлення: значення $ES = 0$ означає відсутність відновлення, $ES = 1$ – повне повернення до докризового рівня, $ES > 1$ – перевідновлення (ІС піднявся вище докризового стану), а $0 < ES < 1$ – часткове відновлення. Водночас, якщо площа втрат LA дорівнює нулю (що означає відсутність зафіксованої кризи у динаміці показника), показник ES оголошується невизначеним для цього випадку.

Однак, так як саме поняття резильєнтності має на увазі саме “швидкість відновлення”, тоді є доцільним його визначити: $\Delta t = t_{rez} - t_{min}$, t_{rez} – момент відновлення до докризового рівня та розрахуємо кількісний показник відновлення:

$$Rez = \frac{ES}{LA \cdot (t_{rez} - t_{min})}$$

що дозволяє кількісно оцінити, наскільки ефективно та швидко ІС виходить із кризового стану. У записі враховано й те, скільки втрачено під час спаду, і те, як швидко ці втрати було компенсовано, отже чим більше значення Rez , тим вища здатність ІС швидко відновлюватися після шоку (рис. 1).

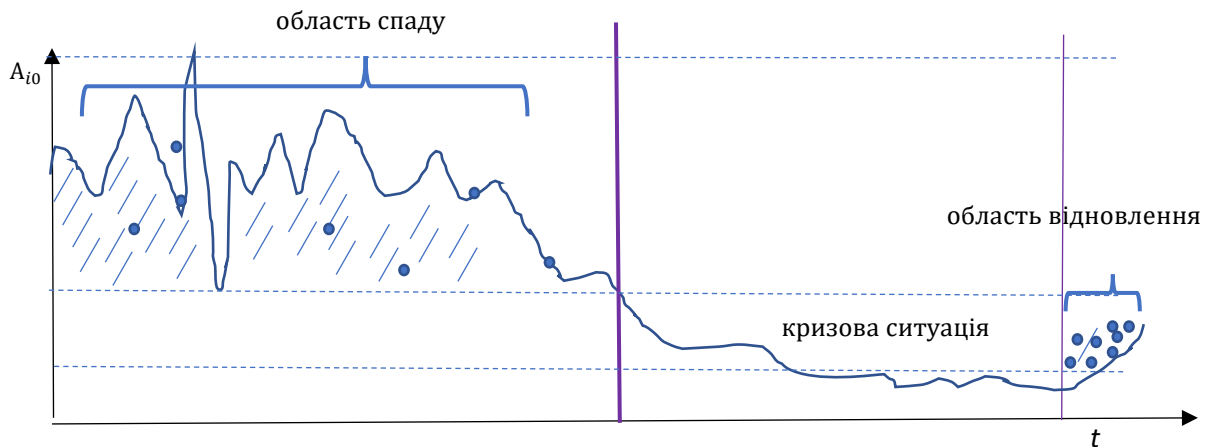


Рисунок – 1 Схематичне зображення динаміки типового показника ІС з урахуванням кризових ситуацій

Джерело: доробок автора

Шостий етап: інтерпретація результатів.

У таблиці 1 представлено варіанти можливих результатів розрахунку показника резильєнтності ІС. Кожен рівень містить інтерпретацію результату, тип відновлення, характеристику економіки після кризи та необхідні подальші заходи для її зміцнення.

Таблиця 1 – Шкала оцінювання результатів показника резильєнтності ІС

Показник Rez	Інтерпретація результату	Тип відновлення
$0 \leq Rez \leq 0,10$	Дуже повільне відновлення: обсяги зростають мінімально, основні втрати не компенсовані, міжнародна взаємодія слабка.	Дуже повільне
$0,10 \leq Rez \leq 0,30$	Відновлення триває, але більшість напрямів співробітництва відновлюються повільно, стабільність ще не досягнута.	Повільне
$0,30 \leq Rez \leq 0,50$	Поступове повернення до докризових обсягів співпраці, частина проектів та контактів відновлені, з'являються нові можливості.	Помірна швидкість

Показник $Re z$	Інтерпретація результату	Тип відновлення
$0,50 \leq Re z \leq 1$	Висока динаміка відновлення: більшість напрямів співпраці вже працює, нові ініціативи активно розвиваються.	Достатньо швидке
$Re z \geq 1$	Надзвичайно швидке відновлення: обсяги співробітництва перевищили докризовий рівень, міжнародна активність демонструє стійке зростання.	Дуже швидке “стрибкоподібне” відновлення

Джерело: доробок автора

Отже, головна особливість практичного застосування цього Методу полягає у комплексному поєднанні математично формалізованої обробки часових рядів показників ІС (з обов’язковою стандартизацією, очищенням від аномалій, урахуванням напряму впливу та усуненням мультиколінеарності) із багаторівневим експертним зважуванням, що дозволяє не лише ідентифікувати ключові фази кризи й відновлення на основі інтегрального агрегованого індексу, а й кількісно вимірювати площі втрат і площі відновлення обсягів міжнародного співробітництва для оцінки швидкості та повноти подолання наслідків кризових ситуацій, незалежно від їх специфіки.

Висновки

Запропонований підхід до оцінювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва послідовно висвітлює алгоритм датування ключових моментів – початку спаду, досягнення мінімуму та завершення фази зниження – у поєднанні з урахуванням накладання кількох криз, що дозволяє відокремлювати внесок окремих шоків і зменшувати ризик подвійного рахунку, завдяки чому інтерпретація часових рядів стає більш прозорою та відтворюваною. Використання інтегральних площ втрат (LA) і відновлення (RA) та узагальнення їх у показник $ES = RA/LA$ із простою інтерпретаційною шкалою забезпечує кількісну оцінку ступеня компенсації попередніх втрат і швидкості повернення до докризових рівнів, а також фіксацію випадків, коли нова рівновага перевищує докризову, що дозволяє проводити регулярний моніторинг стану міжнародного співробітництва, виявлення переломних точок, оцінювання ефективності заходів підтримки та своєчасного коригування політики тощо. В той же час результати залежать від якості й повноти вихідних даних та від обраних параметрів (ваг, порогів і методів нормування), що обумовлює потребу у тестах чутливості, розширенні валідації на різних країнах і секторах, подальшій автоматизації фазової розмітки та, за можливості, урахуванні невизначеності через інтервальні оцінки.

Загалом метод можна розглядати як робочий інструмент для кількісного вимірювання швидкості та повноти посткризового відновлення, який доцільно використовувати разом із галузевою експертизою стану міжнародної кооперації.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Hallegatte, S. (2014). Economic Resilience: Definition and Measurement (Policy Research Working Paper 6852). World Bank. URL : <https://documents1.worldbank.org/curated/en/350411468149663792/pdf/WPS6852.pdf>
2. Martin, R., & Sunley, P. (2015). On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and

- Explanation. *Journal of Economic Geography*. URL : <https://academic.oup.com/joeg/article/15/1/1/960842>
3. Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1193/1.1623497>
 4. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD & JRC. URL : <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47008>
 5. Henry, D., & Ramírez-Márquez, J. E. (2012). Generic Metrics and Quantitative Approaches for System Resilience as a Function of Time. *Reliability Engineering & System Safety*. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832011001748>
 6. Linkov, I., Trump, B. D., & Fox-Lent, C. (2019). Resilience: Approaches to Risk Analysis and Governance. International Risk Governance Center (IRGC). URL : <https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Linkov-Trump-Fox-Lent-Resilience-Approaches-to-Risk-Analysis-and-Governance.pdf>
 7. World Trade Organization. (2021). World Trade Report 2021: Economic Resilience and Trade. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr21_e/00_wtr21_e.pdf
 8. UNCTAD. (2022). Impact of the COVID-19 Pandemic on Trade and Development: Lessons Learned. United Nations Conference on Trade and Development. URL : https://unctad.org/system/files/official-document/osg2022d1_en.pdf
 9. World Trade Organization. (2022). World Trade Statistical Review 2022. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtsr_2022_e.pdf
 10. Лібанова, Е. (2024). Резильєнтність соціоекономічної системи України до шоків, спричинених війною: специфіка формування і реагування. *Демографія та соціальна економіка*. URL : <https://ojs.dse.org.ua/index.php/dse/article/download/212/154/2492>
 11. Лещух, І. В. (2024). Методичні підходи до оцінювання соціально-економічної резильєнтності систем. *Бізнес Інформ*. URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-8_0-pages-13_24.pdf
 12. Хаустова, В. Є., & Решетняк, О. І. (2023). Резильєнтність економіки: сутність і виклики для України. *Бізнес Інформ*. URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2023-7_0-pages-30_41.pdf

References

1. Hallegatte, S. (2014). Economic Resilience: Definition and Measurement (Policy Research Working Paper 6852). World Bank. URL : <https://documents1.worldbank.org/curated/en/350411468149663792/pdf/WPS6852.pdf>
2. Martin, R., & Sunley, P. (2015). On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation. *Journal of Economic Geography*. URL : <https://academic.oup.com/joeg/article/15/1/1/960842>
3. Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*.
4. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD & JRC. URL : <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47008>
5. Henry, D., & Ramírez-Márquez, J. E. (2012). Generic Metrics and Quantitative Approaches for System Resilience as a Function of Time. *Reliability Engineering & System Safety*. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832011001748>

6. Linkov, I., Trump, B. D., & Fox-Lent, C. (2019). Resilience: Approaches to Risk Analysis and Governance. International Risk Governance Center (IRGC). URL : <https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Linkov-Trump-Fox-Lent-Resilience-Approaches-to-Risk-Analysis-and-Governance.pdf>
7. World Trade Organization. (2021). World Trade Report 2021: Economic Resilience and Trade. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr21_e/00_wtr21_e.pdf
8. UNCTAD. (2022). Impact of the COVID-19 Pandemic on Trade and Development: Lessons Learned. United Nations Conference on Trade and Development. URL : https://unctad.org/system/files/official-document/osg2022d1_en.pdf
9. World Trade Organization. (2022). World Trade Statistical Review 2022. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtsr_2022_e.pdf
10. Libanova, E. (2024). Rezyliientnist sotsioekonomichnoi systemy Ukrainy do shokiv, sprychynenykh viinoiu: spetsyfika formuvannia i reahuvannia. *Demohrafiia ta sotsialna ekonomika*. <https://ojs.dse.org.ua/index.php/dse/article/download/212/154/2492>
11. Leshchukh, I. V. (2024). Metodychni pidkhody do otsiniuvannia sotsialno-ekonomichnoi rezyliientnosti system. *Biznes Inform*. URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-8_0-pages-13_24.pdf
12. Khaustova, V. Ye., & Reshetniak, O. I. (2023). Rezyliientnist ekonomiky: sutnist i vyklyky dlia Ukrainy. *Biznes Inform*. URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2023-7_0-pages-30_41.pdf