

МАКРОЕКОНОМІКА

<https://doi.org/10.15407/etet2025.02.078>

УДК: 338.2: 338.4: 338.5: 330.4:336.5

JEL: O3, O4, D2, E2, C1

Олександр Бандура

ЕКСЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙ НА РІЗНИХ ІЄРАРХІЧНИХ РІВНЯХ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ (ЧАСТИНА 1 – МЕТОДОЛОГІЧНА)¹

Проаналізовано переваги та недоліки основних методів визначення ефективності інновацій як на мікро-, так і на макрорівні економічної системи. Показано, що для оцінки технічної (технологічної) ефективності інновацій на макрорівні використовуються суто дані, які фактично не корелюють з мікроекономічними даними, за якими оцінюється ефективність інновацій фірми. Це ускладнює оцінку впливу інновацій на мікрорівні з боку окремої фірми як на макроекономічну ситуацію, так і на інноваційну ефективність економіки в цілому. Так само оцінка впливу інновацій на макрорівні на інноваційну ефективність фірми залишається недостатньо зрозумілою та емпірично не обґрунтованою. А процедура економічної (цінної) оцінки ефективності інновацій не гарантує їх точного та однозначного вимірювання по своїй природі. За довільного співвідношення величини цін на виробничі ресурси будь-яка технологія може бути оптимальною, що, так чи інакше, впливає на однозначність оцінок ефективності інновацій, які є частиною технологій виробництва. Існування цієї проблеми доводиться математично, розглядаючи процес ціноутворення в рамках загальновідомої моделі "витрати – випуск". Здебільшого часто навіть важко визначити, наприклад, чи є взагалі інновацією запропоновані виробником зміни до технології. Тим більше важко визначити "ступінь інноваційності" такого роду змін. До того ж зазначені проблеми монетарної оцінки витрат ресурсів поглиблюються нерівномірністю інфляції по секторах економіки, що вкупі з девальвацією національної валюти може стимулювати перманентну зміну оптимальної технології виробництва, ускладнити оцінку його інноваційної ефективності як на мікро-, так і на макрорівні. В рамках авторської SMI-моделі макроекономічної динаміки (бізнес-циклів) пояснюється

Бандура Олександр Вікторович (alexban@ukr.net) д-р екон. наук, доц.; провідний науковий співробітник відділу економічної теорії Державної установи "Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України". <https://orcid.org/0000-0002-3543-4461>

¹ Стаття є першою частиною роботи, що складається з двох частин: 1) методологічної та 2) емпіричної.

Цитування: Бандура, О.В. (2025). Ексергетичні показники оцінки ефективності інновацій на різних ієрархічних рівнях економічної системи (частина 1 – методологічна). *Економічна теорія*, 2, 78–92. <https://doi.org/10.15407/etet2025.02.078>

© Видавець Державна установа "Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України", 2025.
Стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>)

взаємозв'язок між монетарними та енергетичними потоками в економічній системі, тобто питомі довгострокові витрати ексергії (придатної енергії) на виробництво товарів та послуг є базою для визначення "природних" цін, до яких тяжіють ринкові ціни за умов вільної конкуренції. Це відкриває шлях до використання суто ексергетичних показників для оцінки ефективності інновацій. А оскільки макрорівновага за CMI-моделлю є простою сумою станів мікрорівноваги на всіх ринках економічної системи (за системою національних рахунків), то з'являється можливість для оцінки ефективності інновацій одночасно як на макро-, так і на мікрорівні, кількісно оцінити вплив інновацій на рівні фірми на ефективність інновацій на рівні окремого сектору чи економіки в цілому. Визначено основні переваги ексергетичної оцінки ефективності інновацій в порівнянні з монетарними.

Ключові слова: інновації, оцінка ефективності, мікроекономічні оцінки, макроекономічні оцінки, довгострокові середні витрати, технологічна та економічна ефективність.

**EXERGY NUMBERS TO MEASURE INNOVATION EFFICIENCY
AT DIFFERENT HIERARCHICAL LEVELS OF THE ECONOMIC SYSTEM
(PART 1 – METHODOLOGICAL)**

Oleksandr Bandura (alexban@ukr.net) Doctor of Economics, Associate Professor, Leading Researcher, Department of Economic Theory, State Organization "Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine".
<https://orcid.org/0000-0002-3543-4461>

The article analyses advantages and disadvantages of the main methods for determining the effectiveness of innovations both at the micro and macro levels of the economic system. It is shown that to assess the technical (technological) efficiency of innovations at the macro level, the only data used are those which do not actually correlate with microeconomic data on whose basis the effectiveness of the firm's innovations is assessed. This complicates the assessment of the impact of innovations at the micro-level on the part of an individual firm both on the macroeconomic situation and on the innovative efficiency of the whole economy. Similarly, the assessment of the impact of innovations at the macro level on the firm's innovation efficiency remains insufficiently clear and is not empirically grounded. And the procedure of economic (price) assessment of the effectiveness of innovations does not guarantee their accurate and unambiguous measurement by its nature. With an arbitrary ratio of the value of prices for production resources, any technology can be optimal, if it, in one way or another, affects the unambiguity of assessments of the effectiveness of innovations, which are part of production technologies. And the existence of this problem is proved mathematically, by considering the pricing process within the framework of the well-known input-output model. In most cases, it is often even difficult to determine, for example, whether the changes to the technology proposed by the manufacturer are an innovation at all. It is even more difficult to determine the "degree of innovation" of this kind of change. In addition, the problems of monetary assessment of resource expenditures are aggravated by the unevenness of inflation in economic sectors, which, together with the devaluation of the national currency, can stimulate a permanent change in the optimal production technology, complicating the assessment of its innovative efficiency both at the micro and macro levels. Within the framework of the author's CMI-model of macroeconomic dynamics (business cycles), the relationship between monetary and energy flows in the economic system is explained, i.e. the specific long-term exergy (suitable energy) cost to produce goods and services is the basis for defining the "natural" prices to which market prices gravitate in a free competition. This paves the way for the use of purely exergy cost indicators to assess the effectiveness of innovations. And since the macro-equilibrium according to the CMI-model is a simple sum of the states of micro-equilibrium in all markets of the economic system (according to the system of national accounts), it becomes possible, in order to assess the effectiveness of innovations both at the macro and micro levels, to quantify the impact of innovations at the firm level on the effectiveness of innovations at the level of a particular sector or the entire economy. The author formu-

lates the main advantages of exergy cost based method of assessment of innovation effectiveness in comparison with the monetary ones.

Keywords: innovations, efficiency evaluation, microeconomic values, macroeconomic values, long-run average cost, technological and economic efficiency.

Незважаючи на тривалу історію спроб визначення ефективності інновацій, питання наразі залишається недостатньо вирішеним. Про це свідчить, наприклад, назва однієї з публікацій на цю тему: "Неможливо правильно керувати тим, що не можна точно виміряти" (Cruz-Cázares, 2013). І проблема адекватного вимірювання ефективності інновацій наразі залишається актуальною, ускладнюючи адекватну оцінку цієї ефективності.

Хоча більшість літератури в галузі інновацій стверджує, що технологічні інновації є центральними для успіху бізнесу, емпіричні результати є непереконливими, оскільки вони свідчать як про позитивні, так і негативні або відсутні наслідки впливу інновацій на діяльність фірми. Тобто витрати на інновацію можуть не гарантувати *конкурентні переваги* для фірми. Автори вважають, що це протиріччя може мати своє походження у вимірюванні інновацій, яке оцінюється за витратами на інновацію або за її результатами. Також між авторами не існує згоди щодо методу вимірювання впливу інновацій на ефективність фірми (Cruz-Cázares, 2013).

Існує велика кількість методів вимірювання інновацій і ця кількість тільки зростає. З початком XXI сторіччя спостерігається значне зростання кількості опублікованих статей на тему інновацій, вимірювання інновацій та інноваційного контролінгу. Так, кількість публікацій з вимірювання інновацій зросла (2001—2016 роки) майже в 5 разів (Haar, 2018). Це свідчить про надзвичайну складність цієї проблеми.

Зазвичай в економіці процес оцінки *інноваційної* ефективності розділяють на дві стадії: *технічну* (технологічну) та *економічну* (цінову) (Hollanders, 2007; Porcelli, 2009; Cruz-Cázares, 2013).

На стадії технічної ефективності для аналізу (порівняння) технологій використовуються різноманітні кількісні (фізичні) показники витрат виробничих ресурсів (праці та капіталу), без застосування їх ціннісних величин (цін). Такого роду вхідні дані використовуються для аналізу технічної ефективності інновацій в окремій фірмі. На мікрорівні система вхідних даних фактично уніфікована у вигляді калькуляції витрат, яка є невід'ємною частиною обліку будь-якої фірми.

Одночасно аналіз технічної ефективності інновацій намагаються здійснювати і на макрорівні, оцінити загальну ефективність інновацій для окремих країн та здійснити порівняльний аналіз інновацій для різних економік. У цих випадках використовується зовсім інший (в порівнянні з мікроекономічними моделями) набір вхідних даних. Зазвичай вихідні дані з макроекономічних моделей формуються у вигляді *індексів*. Можна навести приклади декількох найбільш відомих моделей для оцінки ефективності інновацій на стадії технічної ефективності (коли не задаються питомі ціннісні показники):

А. *Інноваційний індекс інформагенції Блумберга* (Bloomberg Innovation Index). Bloomberg склав рейтинг країн на основі їхньої загальної здатності до інновацій. Було розглянуто шість *рівноважних* показників:

1) витрати на наукові та дослідно-конструкторські роботи у відсотках від ВВП; 2) додана вартість виробництва на душу населення; 3) кількість високотехнологічних публічних компаній, що базуються на внутрішньому ринку, таких як аерокосмічна та оборонна, біотехнологічна, електроніка, програмне забезпечення, напівпровідникова, програмне забезпечення та послуги в Інтернеті, а також компанії з відновлюваної енергетики, як частка від загального обсягу високотехнологічних публічних компаній у світі; 4) кількість випускників середньої школи, зарахованих до вищих навчальних закладів, у відсотках від загальної кількості; відсоток робочої сили з вищою освітою, а також щорічні випускники наукових та інженерних спеціальностей у відсотках від робочої сили та у відсотках від загальної кількості випускників вищих навчальних закладів; 5) фахівці, у тому числі аспіранти, що займаються науково-дослідними роботами на 1 млн населення; 6) заявки на патенти резидентів на 1 мільйон населення та на 1 мільйон витрачених досліджень і розробок; патентів на корисні властивості видано у відсотках від загальної кількості у світі

Оцінки за цими показниками об'єднали у відповідний індекс, щоб забезпечити загальну оцінку для кожної країни від нуля до 100 і визначили топ-50 країн (Coу, 2015).

В. *Індекс інноваційної спроможності* (Innovation Capacity Index, ICI) – це показник, призначений для оцінки здатності країни або регіону до інновацій. Як правило, він враховує різні фактори, які сприяють інноваціям, такі як: 1) людський капітал: рівень освіти та навички робочої сили, які мають вирішальне значення для сприяння творчості та інноваціям; 2) дослідження та розробки (R&D): інвестиції в НДДКР як державного, так і приватного секторів, включаючи витрати на наукові дослідження та технологічний розвиток; 3) Інфраструктура: наявність необхідної інфраструктури (наприклад, доступ до Інтернету, транспорт), яка підтримує інноваційну діяльність; 4) бізнес-середовище: нормативно-правова база, легкість ведення бізнесу та підтримка стартапів, які можуть стимулювати інновації; 5) співпраця: партнерство між університетами, науково-дослідними установами, державними установами та приватними компаніями, яке може призвести до інноваційних проривів; 6) динаміка ринку: наявність конкурентних ринків, які заохочують компанії до інновацій, щоб випереджати своїх конкурентів; 7) доступ до фінансування: наявність джерел фінансування для інноваторів та підприємців через венчурний капітал або інші варіанти фінансування.

Конкретні вимірювані компоненти можуть варіюватися залежно від організації або установи, що проводить оцінку. Однак загальна мета в цілому схожа – забезпечити розуміння того, наскільки добре країна або регіон має можливість генерувати нові ідеї, технології, продукти або процеси, які можуть позитивно вплинути на економічне зростання і соціальний прогрес. Різні організації можуть розробляти власні версії для розрахунку ICI

на основі доступних джерел даних і показників, що відповідають їхньому контексту (López-Claros, 2012).

С. Європейська інноваційна система (European Innovation Scoreboard, EIS). Ефективність інновацій в цьому випадку може бути виміряна шляхом порівняння композитних індикаторів на вході (відсоток населення у віці 20–24 років, що отримали щонайменше середню освіту; відсоток від ВВП на R&D витрати, відсоток від ВВП на венчурний капітал тощо. Загалом 15 індикаторів) та виході (відсоток від загальної робочої сили в секторі високих технологій; кількість патентів на 1 мільйон населення тощо. Загалом 10 індикаторів) (Hollanders, 2007).

Таким чином, для оцінки технічної ефективності інновацій на макрорівні використовуються суто дані, які фактично не корелюють з мікроекономічними даними, за якими оцінюється ефективність інновацій фірми. Це ускладнює оцінку впливу інновацій на мікрорівні з боку окремої фірми як на макроекономічну ситуацію, так і на інноваційну ефективність економіки в цілому.

Так само оцінка впливу інновацій на макрорівні на інноваційну ефективність фірми залишається недостатньо зрозумілою та емпірично не обґрунтованою (Brenner, 2009).

Щоб коректно усунути цю проблему, необхідні економічні моделі, які б використовували однакові показники на вході в модель як на мікро-, так і на макрорівні, тобто усували б штучне розмежування реальної економіки на макро- та мікрорівень.

Як на макро-, так і на мікрорівнях внаслідок аналізу технічної ефективності вдається відсіяти заздалегідь і вочевидь неефективні рішення. Однак залишається певна множина потенційно ефективних рішень, серед яких неможливо виділити оптимальне рішення без того, щоб мати інформацію про питому цінність кожного з виробничих ресурсів.

Тому для прийняття рішення необхідна стадія оцінки економічної (цінової) ефективності інновації, де, використовуючи ринкові ціни на виробничі ресурси, з множини технічно ефективних рішень відокремлюється одне оптимальне.

Деякі науковці пропонують використовувати для аналізу економічної ефективності інновацій *абсолютні* величини співвідношення витрати-вигода (рентабельність, прибуток тощо) (Краєчук, 2019). Однак такі загальновідомі показники економічної ефективності виробництва можуть спотворювати відображення саме інноваційної ефективності та ускладнювати порівняння різних технологій принаймні з двох причин.

По-перше, абсолютні значення прибутків залежать від балансу "пит – пропозиція", що слабо пов'язано саме з технологіями. А зменшення, наприклад, заробітної плати в абсолютних обсягах витрат навряд чи є ознакою покращення технології виробництва. Тому для забезпечення більш адекватного порівняння технологій переважна більшість досліджень з оцінки ефективності інновацій (як технічної, так і економічної) спирається на один з двох (математично еквівалентних) підходів (Porcelli, 2009):

- 1) мінімізація витрат виробничих ресурсів на вході в об'єкт за фіксації незмінними обсягів випуску (the input approach);
- 2) максимізація випуску від об'єкта за фіксації незмінними обсягів виробничих ресурсів на вході (the output approach)

По-друге, процедура економічної оцінки ефективності інновацій не гарантує їх точного та однозначного вимірювання по своїй природі. Справа в тому, що існуючі методики оцінки ефективності інновацій в монетарних одиницях виміру не дозволяють однозначно оцінити ефективність інновацій, оскільки монетарні одиниці забезпечують лише *відносну* оцінку (щодо якого-небудь товару або групи товарів), що призводить, зокрема, до неможливості однозначно визначити оптимальну технологію виробництва товарів. Іншими словами, за довільного співвідношення величини цін на виробничі ресурси будь-яка технологія може бути оптимальною, що, так чи інакше, впливає на однозначність оцінок ефективності інновацій, які є частиною технологій виробництва.

І цю проблему можна показати математично, розглядаючи процес ціноутворення в рамках загальновідомої моделі "витрати – випуск". В рамках цієї моделі система рівнянь для визначення вектора ринкових цін у різних секторах економіки можна представити у векторній формі:

$$P - (I - A - rK)^{-1} \omega L = 0, \quad (1)$$

де P – вектор ринкових цін; I – одинична матриця; A – матриця технологічних коефіцієнтів; K – матриця капітальних коефіцієнтів; ω – діагональна матриця ставок заробітної плати; r – діагональна матриця середніх ставок норми прибутку на капітал; L – вектор зайнятості по секторах економіки.

Як відомо з математики, якщо права частина всіх рівнянь системи дорівнює нулю, то система рівнянь (1) має нескінченну або нульову множину рішень по P . Для отримання єдиного рішення потрібно екзогенно (фактично навмання) задати хоча б одну ціну (або декілька цін) і вже *стосовно* них можна визначити решту цін. Саме тому монетарна оптимізація технологій навіть теоретично не може мати одного єдиного рішення, тобто математично неможливо визначити набір технологій, що мінімізує питомі витрати виробничих ресурсів за будь-яких ринкових умов. Іншими словами, в монетарному вимірі будь-яка технологія може бути оптимальною залежно від співвідношення цін на виробничі ресурси.

Можливість відкинути вочевидь неефективні та застарілі технології може пояснити доцільність самого факту існування двох стадій оцінки ефективності інновацій – технічної та економічної. Хоча, теоретично, за умов економічної "нормальності" (наприклад, за умов досконалої конкуренції) та стабільності співвідношення цін на виробничі ресурси, для оцінки ефективності інновацій було б достатньо лише економічної стадії.

Здебільшого часто навіть важко визначити, наприклад, чи є взагалі інновацією, запропоновані виробником зміни до технології. Тим більше важко визначити "ступінь інноваційності" такого роду змін. До того ж зазначені проблеми монетарної оцінки витрат ресурсів поглиблюються нерів-

номірністю інфляції по секторах економіки, що вкупі з девальвацією національної валюти може стимулювати перманентну зміну оптимальної технології виробництва, ускладнити оцінку його інноваційної ефективності як на мікро-, так і на макрорівні.

Також зауважується, що для підвищення ефективності інноваційної політики необхідно мати можливість вимірювати інновації в усіх секторах економіки згідно з національною системою рахунків (Gault, 2015).

Варто зазначити, що з боку представників природничих наук також робились спроби оцінки ефективності технологій (інновацій), але в енергетичних (не монетарних) одиницях виміру витрат виробничих ресурсів.

Починаючи з середини ХХ сторіччя, серед представників природничих наук робились чисельні спроби розрахунку питомих витрат виробничих ресурсів в енергетичному вимірі¹.

Наприклад, можна зустріти такі назви питомих витрат: "енергетична (ексергетична) вартість" (energy, exergy cost) (Chapman, 1974, Bullard, 1975, Boustead, 1979); "втілена енергія" (Costanza, 1980); "технологічне паливне число", "кумулятивна енергія, ексергія" (cumulative energy, exergy); "сума питомих витрат енергії, ексергії", "кумулятивні витрати ексергії" (cumulative expenditures), "енергоємність" (energy intensity), "енергоспоживання" (energy requirement), "екологічна вартість" (ecology cost), "енергія-нетто" (net energy) (Бродянский, 1988, Bullard, 1978) тощо.

Всі ці спроби не мали під собою якого-небудь економічного обґрунтування. Ба більше, методи урахування виробничих ресурсів не були уніфіковані, а велика частина виробничих витрат взагалі не враховувалась в цих показниках. Наприклад, практично в усіх, зазначених вище, показниках питомих витрат енергії (ексергії) витрати праці взагалі не враховувались. А якщо і враховувались (наприклад, у величині "embodied energy"), то в доволі екзотичній формі, яка не має нічого спільного з економічним методом урахування цього виду виробничих витрат. Однак головною проблемою для представників природничих наук була відсутність теорії, яка б пояснювала взаємозв'язок між монетарними та енергетичними потоками в економічній системі.

Проте зазначені вище методи визначення питомих витрат енергії (ексергії) використовувались для оцінки ефективності технологій, але тільки в секторах економіки, де витрати на паливо є вирішальними, а витрати праці є порівняно малими завдяки автоматизації та механізації (теплоенергетика, металургія). Було створено навіть довідник питомих енергетичних витрат для різних видів продукції такого роду секторів економіки (Boustead, 1979), що дозволяло порівнювати різні технології виробництва, але лише в окремих "енергоємних" секторах економіки.

У рамках авторської СМІ-моделі макроекономічної динаміки (бізнес-циклів) можна запропонувати шлях до усунення зазначених вище недолі-

¹ Energy Analysis (1974). *Workshop Report #6. International Federation of Institutes for Advanced Study (IFIAS)*, Stockholm.

кв як монетарних, так і енергетичних методів оцінки ефективності інновацій (Бандура, 2016).

Насамперед у рамках СМІ-моделі пропонується можливе пояснення взаємозв'язку енергетичних та монетарних оцінок витрат виробничих ресурсів. Базою для цього є запровадження в економічні оцінки додаткової (до монетарної) одиниці виміру витрат виробничих ресурсів з метою одночасного та безпосереднього відображення всієї специфіки законів сфер виробництва та обміну, що можливо, якщо для кожної з цих сфер застосовується своя окрема одиниця виміру. Оскільки гроші є природною мірою у сфері обміну, *ексергія*² (*придатна енергія*) пропонується як єдина та незалежна (від ринкових умов) міра витрат ресурсів у сфері виробництва.

При оцінюванні ресурсів у монетарній формі мінімум витрат ресурсів означає мінімум витрат грошей, а при оцінюванні тих самих ресурсів в ексергетичній формі – мінімум витрат ексергії. Як наслідок, маємо два мінімуми залежно від вибору одиниці виміру. В загальному випадку величини цих мінімумів не збігаються, тобто результати оптимізації за ексергетичними та монетарними витратами призводять до вибору різних технологій виробництва.

З економічної теорії відомо, що за умов досконалої конкуренції всі товари та послуги виробляються з мінімально можливими витратами ресурсів. Природно припустити, що стан економіки або ринку, коли для виробництва товарів та послуг використовується мінімальна кількість ресурсів, не повинен залежати від суб'єктивно обраної міри тих ресурсів. У цьому випадку мінімізація витрат ресурсів за монетарним та ексергетичним критерієм призводить до вибору однакових технологій виробництва. Тому стан ринку або економіки, коли виробництво здійснюється за мінімальних витрат ресурсів як в монетарному, так і в ексергетичному вимірах, запропоновано для кількісного визначення стану досконалої конкуренції.

З математичної точки зору такий стан досягається, коли монетарні та ексергетичні витрати є пропорційними. І оскільки довгострокові середні витрати в ексергетичному вимірі (E_i) не залежать від ринкової кон'юнктури (що буде показано нижче), то ці витрати в рамках СМІ-моделі можуть визначити "природні ціни" (P_0) в класичному розумінні, тобто ціни, до яких тяжіють поточні ринкові ціни (P). У випадку досконалих ринків природна та ринкова ціни чисельно збігаються, тому економічний прибуток дорівнює нулю.

Таким чином, формули (2) та (3) відображають залежності між питомими ексергетичними витратами, "природною" (P_{0i}) та ринковою (P_i) цінами (Бандура, 2016). Формула (3) визначає вектор "природних" цін, який

² Ексергія — максимально можлива термодинамічна робота, яка може бути отримана в оберненому (ідеальному, без втрат) процесі при девальвації природного ресурсу до параметрів "мертвого" стану навколишнього середовища, тобто стану, коли неможливо за допомогою фізико-хімічних процесів отримати таку роботу від ресурсу. Фактично ексергія є *енергетичною функцією*, що оцінює якість, природну цінність енергетичного ресурсу або потоку енергії.

відображає середні витрати галузі в довгостроковій перспективі (LAC) в монетарних одиницях виміру.

$$P_{0,i} = E_i * k, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт перерахунку, який є однаковим для всіх секторів економіки та використовується для перерахунку ексергетичних витрат у монетарні одиниці, але зі збереження міжгалузевих пропорцій, що визначаються ексергетичними витратами. Формула для його визначення наведена нижче у (5).

Формула (2) визначає вектор "природних" цін, який відображає середні витрати галузі в довгостроковій перспективі (LAC) в монетарних одиницях виміру (що буде показано нижче). Таким чином, грошова маса може бути одночасно розподілена між секторами економіки згідно з пропорціями, що визначаються як питомими ексергетичними витратами (не ринковий механізм), так і ринковими цінами.

Для будь-якого i -го сектору економіки або фірми ринкова ціна (P_i) може бути представлена у загальному вигляді:

$$P_i = P_{oi} \pm \Delta P_i, \quad (3)$$

де P_{oi} – природна ціна для i -го сектору економіки або фірми; ΔP_i – відхилення ринкової ціни від природної.

Такий підхід дозволяє забезпечити мікроекономічне підґрунтя для макроекономіки, визначивши стан макрорівноваги як просту суму станів мікрорівноваги. Тобто стан економіки, коли індекси ринкових та природних цін чисельно збігаються, пропонується визначати як стан макроекономічної рівноваги:

$$\pm \Delta P = P_0 - P = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{\min,i} X_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i^{\text{base}} X_i)} \times \frac{M_{\text{CMI}}}{\sum_{i=1}^m (E_{\text{abs},y} X_y)} - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i X_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i^{\text{base}} X_i)}, \quad (4)$$

де P , P_0 – індекси ринкових та природних цін відповідно, P_i^{base} – ринкова ціна базового року для i -го сектору; M_{CMI} – величина не нейтральної³ грошової маси, приріст якої обмежений зростанням інфляції; m – кількість секторів економіки, де видобуваються природні ресурси; $E_{\text{abs},y}$ – питома ексергія природного ресурсу (y); X_y – кількість природного ресурсу, що видобувається в секторі у фізичному вимірі; $E_{\min,i}$ – мінімальні питомі ексергетичні витрати в i -му секторі (за формулою (9), яка пояснюється нижче); X_i – випуск товарів або послуг для i -го сектору економіки; n – кількість секторів, до яких агрегована економіка; P_i – ринкова ціна в i -му секторі.

Динаміка коефіцієнту перерахунку (k) із (2) враховується в (4) у вигляді:

³ Не нейтральна грошова маса – та, що безпосередньо впливає на зростання ВВП. Натомість нейтральна грошова маса – та, що не впливає на зростання ВВП. Концепція нейтральної грошової маси була обґрунтована Ф. Хайєком в 30–40-х роках ХХ сторіччя. У СМІ-моделі величина не нейтральної грошової маси визначається як така, що забезпечує рівність індексів "природних" та ринкових цін в точках макроекономічної рівноваги за рівнянням (4). А величину грошового агрегату M_2 можна представити як суму агрегатів нейтральної та не нейтральної грошової маси.

$$k(t) = \frac{M_{CMI}}{\sum_{y=1}^m (E_{abs_y} \times X_y)} \quad (5)$$

Урахування грошової маси (M_{CMI}) в (к) дозволяє для будь-якого моменту часу визначити вектор природних цін (P_o) в монетарній формі, який відповідає міжгалузевим пропорціям, визначеним вектором ексергетичних витрат.

Згідно зі СМІ-моделлю, якщо $\Delta P > 0$ для всієї економіки, то спостерігається економічне зростання, якщо $\Delta P < 0$, то виникає рецесія. Точки, де $\Delta P = 0$, є поворотними точкам економічного циклу та макрорівноваги одночасно. Доки величина ΔP не стане від'ємною, економіка здатна поглинати зовнішні шоки без рецесії, лише з уповільненням.

Оскільки величина кумулятивної недосконалості ринків дорівнює нулю (або є мінімальною) в точках, де $\Delta P \rightarrow 0$ (при $\Delta E \rightarrow \min$), то біля цих точок темпи зростання повинні бути максимальними (бум) за такої комбінації ринкових умов, тобто рівність нулю виразу (4) є умовою максимізації темпів економічного зростання. Натомість у точках, в яких $\Delta P \rightarrow \max$ (при $\Delta E \rightarrow \max$), кумулятивна недосконалість ринків повинна бути максимальною, що зумовлює зміну (корекцію) макроекономічного тренду, повертаючи економічну динаміку в напрямку до рівноваги, до мінімальної величини кумулятивної недосконалості ринків. Таким чином, величина ΔP (4) є рушійною силою макроекономічної динаміки (бізнес циклів). Зазначені вище теоретичні висновки були підтвержені емпірично на прикладі економік США (з 1970 до 2022) та України (з 1996 до 2015) (Бандура, 2016).

В рамках СМІ-моделі встановлюється взаємозв'язок між ексергетичними та монетарними показниками (2–4), між макро- та мікрорівнями економічної системи, пояснюється, як монетарні оцінки взаємодіють з немонетарними (енергетичними) в процесі розвитку екосистеми. Саме такі взаємозв'язки можуть довести принципову можливість використовувати лише ексергетичні оцінки витрат виробничих ресурсів у процесі оцінки ефективності інновацій. Це дозволяє запропонувати суто ексергетичні показники для оцінки ефективності інновацій на різних ієрархічних рівнях екосистеми, які можуть забезпечити їхній взаємозв'язок між основними мікро- та макроекономічними показниками.

Ба більше, як видно з (4), одні й ті самі дані на вході в модель, що використовуються для оцінки ефективності інновацій на мікрорівні забезпечують ефективність інновацій і на макрорівні, що дозволяє здійснювати оцінку впливу ефективності інновацій на мікрорівні з боку окремої фірми як на макроекономічну, так і на інноваційну ефективність економіки в цілому.

Усуваючи недоліки зазначених вище методів енергетичної оцінки витрат виробничих ресурсів, в рамках СМІ-моделі був запропонований оригінальний метод розрахунку вектора ексергетичних витрат, який відповідає саме визначеним тут категоріям макро- та мікрорівноваги. Він відрізняється від наведених вище принаймні в двох аспектах. По-перше, одна і та сама модель "витрати – випуск" є базою для визначення як вектора цін,

так і вектора ексергетичних витрат, що є важливим при подальшому порівнянні індексів природних та ринкових цін (щоб уникнути похибки, яка пов'язана з різницею в методології визначення відповідних міжгалузевих пропорцій). По-друге, потрібно урахувати витрати праці у величині ексергетичних витрат у той самий спосіб, як це робиться при монетарних оцінках.

Для розрахунку вектора питомих ексергетичних витрат пропонуємо рівняння у вигляді:

$$E - (I - A - rK)^{-1} \omega L = E_{abs}, \quad (6)$$

де E – вектор питомих ексергетичних витрат; ω – діагональна матриця ексергетичних еквівалентів ставок заробітної плати; E_{abs} – вектор питомих величин хімічної ексергії природних ресурсів, які можна вважати своєрідними "природними константами", що наведені, наприклад, в (Szargut, 1987).

Рівняння (6) має таку саму структуру, як і рівняння (1), що забезпечує урахування однакових видів виробничих ресурсів як за монетарної, так і енергетичної оцінки. Однак права частина рівнянь, що описують сектори економіки з видобутку природних копалин, не дорівнюють нулю (E_{abs}) на відміну від аналогічних рівнянь (1). Фізичні константи (E_{abs}) характеризують абсолютну цінність природних ресурсів, яку вони мають незалежно від господарської діяльності людства. Саме нерівність нулю правої частини в декількох рівняннях системи забезпечує одне єдине рішення квадратної матриці (6) для вектора E .

Для урахування витрат праці в ексергетичних витратах (E) запроваджується величина (w), яка по своїй структурі є аналогом величини заробітної платні в монетарних оцінках. Компоненти w_i вектора w розраховуються за сукупними витратами ексергії на виробництво товарів та послуг, які ідуть на безпосереднє споживання одиницею робочої сили (аналогічно до тих товарів та послуг, що можуть бути придбані на величину заробітної плати):

$$w_i = \frac{\sum_1^n (E_{min,i} \cdot C_i)}{L_i}, \quad (7)$$

де C_i – кількість випуску товарів та послуг в i -му секторі, що іде на персональне споживання у фізичних одиницях; $E_{min,i}$ – мінімальні сукупні ексергетичні витрати на виробництво одиниці товару чи послуги в i -му секторі; L_i – зайнятість в i -му секторі економіки; n – кількість секторів економіки в (6).

Таким чином, питомі ексергетичні витрати (6) для i -го сектору, де видобувають природні ресурси, мають вигляд:

$$E = E_{abs} + E_{rel} \quad (8)$$

де E_{abs} – абсолютна (природна) цінність природного ресурсу, яку він має навіть, залишаючись в надрах; E_{rel} – відносна (ринкова) цінність, природного ресурсу.

Очевидно, що для всіх інших секторів економіки (окрім ресурсно-видобувних) $E_{abs} = 0$. Величина ексергії $E_{abs, j}$ характеризує абсолютну цінність природного j -го ресурсу, яку він має навіть за повної відсутності економічної діяльності. Ця величина є свого роду природною ціннісною константою в умовах планети Земля, яка була розрахована в термодинаміці для основних видів природних ресурсів (Шаргут, 1987). Для порівняння, *ринкова цінність природного ресурсу дорівнює нулю, якщо відсутні витрати на його видобування.*

Однак не будь-яке значення витрат E_i із (6) відповідає пропорціям досконалої конкуренції, природним цінам, а лише мінімальні значення ($E_{min, i}$). Для мінімізації величин E пропонуємо просту та приблизну, але достатню для практичних розрахунків, методика: 1) вектор E розраховується для декількох календарних періодів (декілька таблиць "витрати-випуск", чим більше таблиць – тим точніше); 2) обираються мінімальні значення $E_{min, i}$ з кожного вектору:

$$E_{min, i} = \min_{1 \leq t < n} E_{i, t}, \quad (9)$$

де $E_{i, t}$ – питомі ексергетичні витрати для i -го сектору в період часу t , n – кількість періодів часу, для яких існують таблиці "витрати – випуск".

Таким чином, вектор *ексергетичних витрат* $E_{min, i}$ відображає питомі довгострокові середні витрати (LAC) виробничих ресурсів (праці та капіталу) на виробництво товарів та послуг в економічній системі. Крім того, *вектор ексергетичних витрат* $E_{min, i}$, який формує певні міжгалузеві пропорції, *не залежить від ринкової кон'юнктури.*

З одного боку, новий вектор $E_{min, i}$ є реальним, оскільки кожна його компонента була досягнута на практиці в той чи інший момент часу. З іншого боку, він є ідеальним, оскільки *одночасно* всі компоненти вектора $E_{min, i}$ ніколи не були сформовані, так само, як і відповідні до них ідеальні міжгалузеві пропорції. Таким чином, величини $E_{min, i}$ відображають максимально можливу ефективність виробництва для кожного сектору, яка коли-небудь досягалась в минулому. Звідси, динаміка $E_{min, i}$ із (9) є *монотонно спадною* на відміну від динаміки E_i із (7), яка є коливальною.

Як було показано вище, використання ексергетичних одиниць виміру витрат виробничих ресурсів дозволяє визначити *лише одну оптимальну технологію виробництва* для кожного з секторів економіки (а не нескінченну множину оптимумів у випадку монетарних одиниць витрат ресурсів), що робить такі оцінки більш однозначними в порівнянні з монетарними показниками. З'являється можливість, порівнюючи витрати окремої фірми, що здійснює інновацію, з витратами відповідного сектору, визначити *ступінь ефективності такої інновації.*

До того ж немає необхідності здійснювати оцінку інновацій за дві стадії (технічну або технологічну та економічну або цінову), оскільки ексергетичні оцінки ефективності інновацій дозволяють поєднати ці дві стадії в одну.

Таким чином, основними перевагами енергетичних методів оцінки ефективності інновацій, порівняння технологій (на відміну від монетарних) є:

1) можливість визначення однієї єдиної оптимальної технології виробництва лише за одну (енергетичну) стадію оцінювання ефективності інновацій (технологій). Не потрібна окрема стадія оцінки технічної ефективності, оскільки обидві стадії (технічна та економічна) поєднані в одну – енергетичну;

2) на енергетичні оцінки ефективності інновацій не впливає інфляція та девальвація як національної, так і будь-якої іншої валюти;

3) енергетичні оцінки відображають оптимальну технологію, яка відповідає довгостроковим середнім витратам (LAC), тобто неситуативний (кон'юнктурний) оптимум, притаманний монетарним оцінкам;

4) в рамках СМІ-моделі можна здійснювати оцінку впливу ефективності інновацій на мікрорівні з боку окремої фірми як на макроекономічну, так і на інноваційну ефективність економіки в цілому, оскільки в цій моделі макrorівновага є простою сумою мікрорівноважних станів на окремих ринках екосистеми. Тобто одні і ті самі дані на вході в модель, що використовуються для оцінки ефективності інновацій на мікрорівні, відображають ефективність інновацій і на макrorівні;

5) з'являється можливість оцінити ефективність інновацій в одній країні стосовно ефективності в іншій країні, тобто можна оцінити, яку ефективність мала б ця інновація в іншій країні;

6) оцінка інновацій може здійснюватися для всіх секторів економіки згідно з національною системою рахунків. Тому для підвищення ефективності інноваційної політики важливо уніфікувати системи національних рахунків з найбільш розвиненими країнами світу (наприклад, США, ЄС, тощо).

Література

1. Бандура, О.В. (2016) Загальна модель економічних циклів — модель кумулятивної неефективності ринків. *Економічна теорія*, 1, 86–100. <https://doi.org/10.15407/etet2016.01.086>
2. Бродянский, В.М., Фратшер, В., & Михалек, К. (1988). *Эксергетический метод и его приложения*. Москва: Энергоатомиздат.
3. Кравчук А.І. (2019) Аналіз існуючих методів економічної ефективності промислових інновацій. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 2, 115. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.2.69-78
4. Boustead, J., & Hancock, G. (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis*. London: Ellis Harwood.
5. Brenner, T., & Broekel, T. (2009). Methodological Issues in Measuring Innovation Performance of Spatial Units. *Working Papers on Innovation and Space*, 01.09, Philipps-University Marburg, Department of Geography, Marburg. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/111861/1/wp2009-01.pdf>
6. Bullard, C., & Herendeen, R. (1975). The Energy Cost of Goods and Services. *Energy Policy*, 3(4), 268-278. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(75\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0301-4215(75)90035-X)

7. Bullard, C., Penner, P., & Pilati, D. (1978). Net Energy Analysis: a Handbook for Combining Processes and Input-Output Analysis. *Resources and Energy*, 1(3), 267-313. [https://doi.org/10.1016/0165-0572\(78\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0165-0572(78)90008-7)
8. Costanza, R. (1980). Embodied Energy and Economic Valuation. *Science*, 210(4475), 1219-1227. https://www.robertcostanza.com/wp-content/uploads/2017/02/1980_J_Costanza_EmbodiedEnergy.pdf; <https://doi.org/10.1126/science.210.4475.1219>
9. Coy, P. (2015). *The Bloomberg Innovation Index*. <http://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>
10. Chapman, P.F. (1974). Energy Costs: a Review of Methods. *Energy Policy*, 2, 91-103. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(74\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0301-4215(74)90002-0)
11. Cruz-Cázares, C., Bayona-Sáez C., & García-Marco T. (2013). You can't manage right what you can't measure well: Technological innovation efficiency. *Research Policy*, 42(6-7), 1239-1250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2013.03.012>
12. Gault, F. (2015). Measuring innovation in all sectors of the economy. United Nations University (UNU). *UNU-MERIT Working Papers*, 038, 30. <https://unu-merit.nl/publications/wppdf/2015/wp2015-038.pdf>
13. Fischer, T.M., Möller, K., & Schultze, W. (2015). *Controlling: Grundlagen, Instrumente und Entwicklungsperspektiven (2, Überarbeitete Auflage)*. Stuttgart (Germany): Schäffer-Poeschel Verlag.
14. Haar, P. (2018). Measuring innovation: A state of the science review of existing approaches. *Intangible Capital*, 14(3), 409. <https://doi.org/10.3926/ic.1254>
15. Hollanders, H., & Celikel-Esser, F. (2007). Measuring innovation efficiency. *European Commission. European Innovation Scoreboard*, 28. https://www.researchgate.net/publication/254849625_Measuring_innovation_efficiency
16. López-Claros, A., & Mata, Y.N. (2012). Policies and Institutions Underpinning Country Innovation: Results from the Innovation Capacity Index. In A. López-Claros (Ed.), *The innovation for development report 2010-2011. Innovation as a driver of productivity and economic growth* (pp. 3-63). Basingstoke: Palgrave Macmillan. https://www.researchgate.net/publication/280051957_Policies_and_Institutions_Underpinning_Country_Innovation_Results_from_the_Innovation_Capacity_Index; https://doi.org/10.1057/9780230299269_1
17. Porcelli, F. (2009). *Measurement of Technical Efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques*. University of Warwick Press, 28. <https://www.scribd.com/document/402634471/Efficiency>
18. Szargut, J.T., & Morris, D.R. (1987). Cumulative exergy consumption and cumulative degree of perfection of chemical processes. *International Journal of Energy Research*, 11, 245-261. <https://doi.org/10.1002/er.4440110207>

References

1. Bandura, A.V. (2016). General model of economic cycles — cumulative market imperfection model (CMI-model). *Ekonom. teor. — Economic Theory*, (1), 86-100. <https://doi.org/10.15407/etet2016.01.086> [in Ukrainian].
2. Boustead, J., & Hancock, G. (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis*. London: Ellis Harwood.
3. Brenner, T., Broekel, T. (2009, 01 Sept.). Methodological Issues in Measuring Innovation Performance of Spatial Units. *Working Papers on Innovation and Space*. Philipps-University Marburg, Department of Geography, Marburg. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/111861/1/wp2009-01.pdf>
4. Brodiansky, V.M., Fratsher, V., & Michalek, K. (1988). *Exergy method and its applications*. Moscow: Energoatomizdat [in Russian]
5. Bullard, C., & Herendeen, R. (1975). The Energy Cost of Goods and Services. *Energy Policy*, 3(4), 268-278. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(75\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0301-4215(75)90035-X)
6. Bullard, C., Penner, P., & Pilati, D. (1978). Net Energy Analysis: a Handbook for Combining Processes and Input-Output Analysis. *Resources and Energy*, 1(3), 267-313. [https://doi.org/10.1016/0165-0572\(78\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0165-0572(78)90008-7)
7. Chapman, P.F. (1974). Energy Costs: a Review of Methods. *Energy Policy*, (2), P. 91-103. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(74\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0301-4215(74)90002-0)

8. Costanza, R. (1980). Embodied Energy and Economic Valuation. *Science*, 210(4475), 1219–1227. https://www.robertcostanza.com/wp-content/uploads/2017/02/1980_J_Costanza_EmbodiedEnergy.pdf; <https://doi.org/10.1126/science.210.4475.1219>
9. Coy, P. (2015). *The Bloomberg Innovation Index*. <http://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>
10. Cruz-Cázares, C., Bayona-Sáez C., & García-Marco T. (2013). You can't manage right what you can't measure well: Technological innovation efficiency. *Research Policy*, 42(6–7), 1239–1250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2013.03.012>
11. Fischer, T.M., Möller, K., & Schultze, W. (2015). *Controlling: Grundlagen, Instrumente und Entwicklungsperspektiven (2, Überarbeitete Auflage)*. Stuttgart (Germany): Schäffer-Poeschel Verlag.
12. Gault, F. (2015). Measuring innovation in all sectors of the economy. United Nations University (UNU). *UNU-MERIT Working Papers*, (038), 30. <https://unu-merit.nl/publications/wppdf/2015/wp2015-038.pdf>
13. Haar, P. (2018). Measuring innovation: A state of the science review of existing approaches. *Intangible Capital*, 14(3), 409. <https://doi.org/10.3926/ic.1254>
14. Hollanders, H., & Celikel-Esser, F. (2007). Measuring innovation efficiency. *European Commission. European Innovation Scoreboard*, 28. https://www.researchgate.net/publication/254849625_Measuring_innovation_efficiency
15. Kravchuk A.I. (2019) Analysis for contemporary methods of economic efficiency for industrial innovations. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University"*, (2), 115. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.2.69-78> [in Ukrainian].
16. López-Claros, A., & Mata, Y.N. (2012). Policies and Institutions Underpinning Country Innovation: Results from the Innovation Capacity Index. *The innovation for development report 2010-2011. Innovation as a driver of productivity and economic growth* (pp. 3–63). Basingstoke: Palgrave Macmillan. https://www.researchgate.net/publication/280051957_Policies_and_Institutions_Underpinning_Country_Innovation_Results_from_the_Innovation_Capacity_Index; https://doi.org/10.1057/9780230299269_1
17. Porcelli, F. (2009). *Measurement of Technical Efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques*. University of Warwick Press. <https://www.scribd.com/document/402634471/Efficiency>
18. Szargut, J., & Morris D. (1987). Cumulative Exergy Consumption and Cumulative Degree of Perfection of Chemical Processes. *International Journal of Energy Research*, (11), 245–261. <https://doi.org/10.1002/er.4440110207>

Надійшло до редакції / Received – 5 травня 2025 року / May 5, 2025

Прорецензовано / Reviewed – 8 травня 2025 року / May 8, 2025

Підписано до друку / Signed to print – 23 червня 2025 року / June 23, 2025