

<https://doi.org/10.15407/etet2025.03.085>

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 2 – ЕМПІРИЧНА)

В роботі запропоновано кількісні показники оцінки ефективності інновацій на різних ієрархічних рівнях економічної системи: ступінь інноваційної ефективності фірми; ступінь інноваційної ефективності сектору економіки, ступінь інноваційної ефективності економіки в цілому. В рамках цих показників технічна (технологічна) та економічна (цінова) ефективності об'єднані в одному показнику, що підвищує однозначність та ефективність оцінок інновацій. При цьому оцінку ефективності інновацій на мікрорівні пропонується здійснювати у два етапи: 1) на першому етапі потрібно визначити: яка з можливих технологій виробництва є найбільш ефективною; 2) на другому етапі визначимо: чи є найбільш ефективна технологія інновацією. Використовуючи зазначені показники, запропоновано методiku визначення "точок економічного зростання економіки", тобто визначення секторів економіки, інвестування в які дозволить підвищити інноваційну ефективність економіки в цілому, впливати регулятору на конфігурацію бізнес-циклу. При цьому оцінку ефективності інновацій на макrorівні пропонується також здійснювати у два етапи. На першому етапі відстежується динаміка питомих довгострокових ексергетичних витрат (LAC) для кожного сектору економіки, порівнюються дані цього показника за різні періоди часу з метою визначення найбільш ефективних технологій виробництва на рівні сектору еко-

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>

Цитування:

*Бандура, О.В. (2025). Ексергетичні показники оцінки ефективності інновацій на різних ієрархічних рівнях економічної системи (частина 2 – емпірична). *Економічна теорія*, (3), 85–100. <https://doi.org/10.15407/etet2025.03.085>*

*Bandura, O. (2025). Exergy numbers to measure innovation efficiency at different hierarchical levels of the economic system (part 2 – empirical). *Ekon. teor. – Economic theory*, (3), 85–100. <https://doi.org/10.15407/etet2025.03.085>*

© 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>)

номіки. На другому етапі, маючи дані про найбільш ефективні технології виробництва на рівні фірми, оцінюється, наскільки зміниться індекс інноваційної ефективності країни, якщо інвестувати в цей сектор з метою зниження секторальних витрат до рівня найбільш ефективної фірми. В роботі також розраховано питомі довгострокові ексергетичні витрати для основних секторів економік США та України як базу даних для розрахунку зазначених кількісних показників оцінки ефективності інновацій. Спосіб застосування запропонованих у роботі методів визначення інноваційної ефективності як на мікро-, так і на макрорівні продемонстровано на прикладі економік США та України. Наведено приклади порівняльного аналізу економік цих країн на базі запропонованих тут методів кількісної оцінки ефективності інновацій. У рамках цих методів з'являється можливість позбутися основних недоліків існуючих методів їх оцінки, визначених у першій (методологічній) частині цієї роботи.

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

EXERGY NUMBERS TO MEASURE INNOVATION EFFICIENCY AT DIFFERENT HIERARCHICAL LEVELS OF THE ECONOMIC SYSTEM (Part 2 – empirical)

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 paper proposes quantitative indicators for assessing the effectiveness of innovations at different hierarchical levels of the economic system: the degree of innovative efficiency of the firm; the degree of innovative efficiency of the economic sector, the degree of innovative efficiency of the economy as a whole. Within the framework of these indicators, technical (technological) and economic (price) efficiency are combined in one indicator, which increases the unambiguity and efficiency of innovation assessments. At the same time, it is proposed to assess the effectiveness of innovations at the micro level in two stages: 1) at the first stage, it is necessary to determine: which of the possible production technologies is the most efficient; and 2) at the second stage, we will determine: is the most effective technology an innovation.

Using these indicators, the author proposes a methodology for defining the "points of economic growth of the economy", i.e. the identification of economic sectors, investment in which will increase the innovative efficiency of the whole economy allowing the regulators to affect the business cycle configuration. At the same time, it is also proposed to assess the effectiveness of innovations at the macro level in two stages: At the first stage, the dynamics of specific long-term exergy costs (LAC) for each sector of the economy is monitored, and the values of this indicator for different periods of time are compared in order to determine the most efficient production technologies at the level of the economic sector. At the second stage, having data on the most efficient production technologies at the firm level, it is estimated how much the country's innovation efficiency index will change if you invest in this sector to reduce sector costs to the level of the most efficient firm.

The paper also calculates specific long-term exergy costs for the main sectors of the US and Ukrainian economies as a database for calculating the specified quantitative indicators for assessing the effectiveness of innovations. The way of using the methods for defining innovation efficiency both at the micro and macro levels is demonstrated on the

example of the economies of the USA and Ukraine. The author gives examples of comparative analysis for these economies based on the methods proposed here for quantitative assessment of the effectiveness of innovations. Within the framework of these methods, it becomes possible to get rid of the main shortcomings of the existing methods of their assessment, identified in the first (methodological) part of this work.

Key words: innovations, efficiency evaluation, microeconomic values, macroeconomic values, long-run average cost, economic growth points, technological and economic efficiency.

У першій частині цієї статті (частина 1 – методологічна) було описано методуку визначення довгострокових середніх ексергетичних витрати (LAC) для i -го сектору економіки ($E_{s,i}$) на базі загальновідомих таблиць "витрати-випуск". Очевидно, що чим більше деталізовані такі таблиці, тим більшою кількістю секторів представлена економіка. Кожна країна, яка економічно може дозволити собі складання таких таблиць, має різний ступінь їх деталізації. Так, у США існують два різновиди деталізації таблиць "витрати-випуск": на 71 та 400 секторів економіки. Наразі таблиці з деталізацією економіки в 65 секторів виходять щорічно¹. В цій роботі використано рівень деталізації в 71 секторів економіки².

Система національних рахунків України також передбачає два різновиди деталізації таблиць "витрати-випуск": на 15 та 38 секторів економіки, які також виходять щорічно. В цій роботі використано рівень деталізації в 38 секторів економіки³.

Для розрахунків величин ($E_{s,i}$) потрібно мати якомога більш деталізовані таблиці "витрати-випуск". Також принципово важливим є наявність статистичних даних про випуск з кожного сектору економіки в натуральному вимірі, а також про зайнятість для кожного з секторів. Варто зазначити, що незважаючи на те, що система національних рахунків України значно поступається в рівні деталізації системі національних рахунків США, однак статистичні дані про випуск продукції по секторах економіки в натуральному вимірі помітно детальніше представлені в Україні.

В табл. 1 представлені авторські розрахунки величини довгострокових середніх ексергетичних витрати (LAC, або exergy cost, $E_{s,i}$) для основних секторів економіки США за 2003 та 2011 роки на базі таблиць "витрати-випуск" з

¹ Цікаво, що у 80-х роках ХХ-го сторіччя в США вже намагалися випускати таблиці "витрати-випуск" щорічно. Але неможливість вчасно отримати необхідні статистичні дані для їх складання призводили до значної статистичної похибки. Тому в 90-х роках відмовились від щорічного їх випуску і повернулись до звичайного періоду випуску — раз на 5 років. Однак розвиток комп'ютерних технологій та цифровізація економіки можуть бути основними чинниками, що дозволили знову повернутись до щорічного випуску цих таблиць.

² BEA. (2011). *Annual Input-Output statistics*. <https://www.bea.gov/itable/input-output>

³ Держстат. (2003, 2011). *Статистична інформація: Національні рахунки. Таблиці "витрати-випуск"*. <https://ukrstat.gov.ua/>

деталізацією економіки у 71 секторів⁴. Окрім таких таблиць розрахунки потребують даних з випуску продукції у фізичному вимірі по всіх секторах економіки⁵, а також дані щодо зайнятості по секторах економіки⁶.

Таблиця 1

Величини питомих довгострокових сумарних ексергетичних витрат (exergy cost, $E_{s,i}$, або LAC) для основних секторів економіки США за 2003 та 2011 роки

Порядковий номер	Сектор економіки США, одиниці виміру	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2003 рік	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2011 рік
1	Продукція сільського господарства, МДж/т	23,18	19,65
2	Продукція лісового господарства, МДж/м ³	4,27	3,64
3	Видобуток нафти, МДж/барель	6,25	6,25
4	Видобуток корисних копалин (окрім нафти), МДж/т	0,63	0,63
5	Виробництво електроенергії, МДж/кВт*год	0,00301	0,00247
6	Будівництво, МДж/одиницю	1785,27	1785,27
7	Продукція з деревини, МДж/м ³	31,12	26,77
8	Продукція з мінералів (не металевих), МДж/т	2,31	2,19
9	Продукція чорної металургії, МДж/т	29,78	29,78
10	Вироби з металу, МДж/т	79,55	75,16
11	Виробництво комп'ютерів та іншої електроніки, МДж/людину	6233,78	3964,97
12	Виробництво автовок (вантажівки включно), МДж/одиницю	860,69	860,69
13	Їжа, напої та тютюнові вироби, МДж/т	451,01	415,87
14	Текстильні вироби, МДж/т	847,20	641,6
15	Паперові вироби, МДж/т	19,34	15,92
16	Друковані вироби, МДж/т	170,34	137,94
17	Продукція нафтопереробки, МДж/барель	9,52	9,52
18	Продукція хімічної промисловості (добрива включно), МДж/т	32,36	32,10
19	Оптова торгівля, МДж/людину	2789,45	2789,45
20	Торгівля автозапчастинами, МДж/людину	2500,73	2113,46

⁴ BEA. (2011). *Annual Input-Output statistics*.

⁵ USGS. (2011). *Mineral Yearbook – Metals and minerals*. National Mineral information center. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/minerals-yearbook-metals-and-minerals>; FAOSTAT. (2024). *Fertilizers archive*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RA>; USDA. (2011). *Data and Statistics*. https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.php?sector=CROPS#skipnav; FRED. (2011). *Federal Reserve Bank of St. Louis Economic Data*. <https://fred.stlouisfed.org>; EIA. (2011). *Annual Primary Energy Overview*. https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec1_3.pdf

⁶ BLS. (2011). *Industries at a Glance*. <https://www.bls.gov/iag/tgs/iag42.htm>; FRED. (2011). *Federal Reserve Bank of St. Louis Economic Data*.

Порядковий номер	Сектор економіки США, одиниці виміру	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2003 рік	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2011 рік
21	Торгівля їжею та напоями, МДж/людину	2009,43	2009,43
22	Торгівля через ТЦ, МДж/ людину	1930,77	1930,77
23	Решта роздрібної торгівлі, МДж/людину	2192,21	2192,21
24	Послуги авіаційного транспортування, МДж/т-милю	284,66	240,69
25	Послуги залізничного транспортування, МДж/т-милю	0,777	0,777
26	Послуги водного транспорту, МДж/т-милю	0,923	0,923
27	Послуги транспортування вантажівками, МДж/т-милю	2,691	2,656
28	Транзитне транспортування (міський транспорт включно), МДж/т-милю	22,582	22,582
29	Транспортування трубопроводом, МДж/т-милю	0,318	0,318
30	Послуги зберігання (на складах), МДж/ людину	1989,66	1989,66
31	Послуги індустрії публікацій (включно з програмним забезпеченням, але включаючи інтернет), МДж/людину	4857,72	4237,69
32	Послуги індустрій кіно та звукозапису, МДж/людину	4145,05	2875,84
33	Послуги телевізійного та радіомовлення, МДж/людину	3461,63	3461,63
34	Послуги з обробки даних, інтернет публікацій та інших інформаційних сервісів, МДж/людину	2955,1	2955,1
35	Послуги банків Федерального Резерву США, МДж/людину	3115,22	3115,22
36	Послуги з інвестицій, цінних паперів та товарних контрактів, МДж/людину	3953,36	3953,36
37	Послуги зі страхування, МДж/людину	2341,78	2312,53
38	Послуги фондів, трастів та інших фінансових установ, МДж/людину	26329,3	26329,3
39	Послуги на ринку нерухомості, МДж/людину	11380,33	10623,88
40	Послуги з оренди та лізингу, МДж/людину	3934,51	3934,51
41	Юридичні послуги, МДж/ людину	1925,52	1925,52
42	Послуги з проектування комп'ютерних систем, МДж/людину	2485,02	2485,02
43	Адміністративні та допоміжні послуги, МДж/людину	2360,17	2360,17
44	Послуги з утилізації та ліквідації відходів, МДж/людину	4416,88	4054,30
45	Освітні послуги, МДж/людину	2110,64	2110,64
46	Амбулаторні медичні послуги, МДж/людину	3470,06	3301,0

Порядковий номер	Сектор економіки США, одиниці виміру	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2003 рік	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2011 рік
47	Послуги лікарень, <i>МДж/людину</i>	3935,4	3935,4
48	Послуги закладів для піклування за хворими та інтернатів, <i>МДж/ людину</i>	2351,23	2351,23
49	Послуги з соціальної допомоги, <i>МДж/людину</i>	2134,43	2134,43
50	Послуги з сценічного мистецтва, музеїв, <i>МДж/людину</i>	2699,95	2699,95
51	Послуги індустрії розваг, азартних ігор та відпочинку, <i>МДж/людину</i>	2354,48	2354,48
52	Послуги з проживання, <i>МДж/людину</i>	2444,46	2444,46
53	Послуги закладів харчування, <i>МДж/людину</i>	2194,14	2194,14
54	Інші послуги, крім державних, <i>МДж/людину</i>	2384,76	2384,76
55	Послуги Федеральних державних підприємств, <i>МДж/людину</i>	4268,39	4268,39
56	Послуги підприємств штатів та місцевого самоврядування, <i>МДж/людину</i>	3191,85	3191,85

Джерело: авторські розрахунки.

В табл. 2 представлені авторські розрахунки величини довгострокових середніх ексергетичних витрати (LAC, або exergy cost, $E_{s,i}$) для основних секторів економіки України за 2003 та 2011 роки на базі таблиць "витрати-випуск" з деталізацією економіки у 38 секторів⁷. Як і у випадку з економікою США, окрім таких таблиць наші розрахунки потребують даних з випуску продукції по всіх секторах у фізичному вимірі⁸, а також дані з зайнятості по секторах економіки України⁹.

Припущення при розрахунках: 1) для *послуг* та деяких секторів економіки, де відсутні дані з випуску у фізичному вимірі (наприклад, масове виробництво та високо номенклатурне) в середньому припускається однакова продуктивність праці, що дозволяє ефективність технологій оцінювати за величиною виробничих витрат на одного працівника (а не на одиницю випуску, як це робиться в інших секторах економіки);

2) для більшості секторів економіки виробництво охоплює великий асортимент товарів, кількість яких у фізичному вимірі неможливо визначити через відсутність статистичних даних. Тому середня ціна товару для

⁷ Держстат. (2003, 2011). *Статистична інформація: Національні рахунки. Таблиці "витрати-випуск"*.

⁸ Держстат. (2012). *Виробництво та реалізація промислової продукції за видами*. Щорічно. <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vyrobnytstvo-ta-realizatsiya-promyslovoyi-produktsiyi-za-vydamy-0>

⁹ Держстат. (2012). *Статистична інформація: ринок праці. Зайняте населення за видами економічної діяльності*. <https://ukrstat.gov.ua/>; Держстат. (2003, 2011). *Статистична інформація: Національні рахунки. Таблиці "витрати-випуск"*.

сектору відображає ціну, яка приведена до того товару, статистика якого є доступною. В цьому випадку ціна такого товару може бути дещо завищеною, оскільки в ній враховується й кількість іншого товару сектору, статистика якого існує. Також різноманітні товари одного сектору можуть враховувати різні товари ширшого асортименту. Наприклад, осереднена ціна продукції агросектору (№1, табл. 1, 2) містить випуск таких товарів, як пшениця, жито, кукурудза, тощо.

Таблиця 2

Величини питомих довгострокових сумарних ексергетичних витрат (exergy cost, $E_{s,i}$, LAC) для основних секторів економіки України за 2003 та 2011 роки

Порядковий номер	Сектор економіки України, одиниці виміру	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2003 рік	Exergy cost, $E_{s,i}$, LAC, 2011 рік
1	Продукція сільського господарства, МДж/т	58,78	39,20
2	Продукція лісового господарства, МДж/т (МДж/м ³)	21,17 (8,52)	17,64 (7,1)
3	Продукція рибальства, МДж/т	218,04	192,66
4	Добування вугілля, лігніту і торфу; добування уранової і торієвої руд, МДж/т	46,08	42,10
5	Добування вуглеводнів, МДж/т (МДж/барель)	66,34 (9,05)	58,58 (8,0)
6	Добування корисних копалин, крім паливно-енергетичних, МДж/т	4,42	3,53
7	Виробництво харчових продуктів, напоїв та тютюнових виробів, МДж/т	247,28	240,0
8	Оброблення деревини та виробництво виробів з деревини; целюлозно-паперове виробництво; видавнича діяльність, МДж/м ³	234,53	184,0
9	Виробництво коксового вугілля, МДж/т	64,63	51,12
10	Виробництво продуктів нафтопереробки, МДж/т (МДж/барель)	178,63 (24,38)	178,63 (24,38)
11	Хімічна та нафтохімічна промисловість, МДж/т	200,85	199,74
12	Виробництво іншої неметалевої мінеральної продукції, МДж/т	28,96	26,88
13	Металургійне виробництво та виробництво готових металевих виробів, МДж/т	67,56	67,09
14	Виробництво та розподілення електроенергії, МДж/кВт*год	0,01062	0,01045
15	Постачання пари та гарячої води, МДж/Гкал	5,67	5,67
16	Продукція машинобудування, МДж/одиницю	3907,03	2898,31
17	Будівництво, МДж/м ³	388,6	342,0

Порядковий номер	Сектор економіки України, одиниці виміру	Exergy cost, $E_{s,i}$ LAC, 2003 рік	Exergy cost, $E_{s,i}$ LAC, 2011 рік
18	Послуги торгівлі; ремонту автомобілів, побутових виробів та предметів особистого вжитку, <i>МДж/людину</i>	1444,62	1444,42
19	Послуги діяльності готелів та ресторанів, <i>МДж/людину</i>	1336,33	1336,33
20	Послуги діяльності транспорту, <i>МДж/т</i>	1,24	1,21
21	Послуги діяльності пошти та зв'язку, <i>МДж/людину</i>	1363,7	1363,7
22	Послуги фінансової діяльності, <i>МДж/людину</i>	2024,12	1672,57
23	Послуги операцій з нерухомим майном, <i>МДж/людину</i>	1634,62	1634,62
24	Послуги оренди машин та устаткування; прокат побутових виробів і предметів особистого вжитку, <i>МДж/людину</i>	2643,47	2466,18
25	Послуги діяльності у сфері інформатизації, <i>МДж/людину</i>	1525,85	1525,85
26	Послуги у сфері дослідження і розробки, <i>МДж/людину</i>	1412,16	1350,81
27	Послуги діяльності у сферах права, бухгалтерського обліку, інжинірингу; надання послуг підприємцям, <i>МДж/людину</i>	1929,08	1929,08
28	Послуги державного управління, <i>МДж/людину</i>	1182,24	1182,24
29	Послуги освіти, <i>МДж/людину</i>	978,66	978,66
30	Послуги охорони здоров'я та надання соціальної допомоги, <i>МДж/людину</i>	1034,59	1034,59
31	Санітарні послуги, прибирання сміття та знищення відходів, <i>МДж/людину</i>	1342,13	1342,13
32	Послуги діяльності громадських організацій, <i>МДж/людину</i>	1061,86	1061,86
33	Послуги діяльності у сфері культури та спорту, відпочинку та розваг, <i>МДж/людину</i>	1140,13	1140,13
34	Надання індивідуальних послуг, <i>МДж/людину</i>	1260,42	1260,42

Джерело: авторські розрахунки.

Варто зазначити, що ці два припущення мають значення для розрахунків на мікрорівні. Для розрахунків на макрорівні вони не мають значення, не впливають на результати розрахунків, якщо макропоказники представлені у вигляді індексів (на кшталт індексу цін за дефлятором ВВП). Однак навіть на мікрорівні вплив зазначених припущень можна зменшити, якщо збільшити кількість секторів, якими апроксимується економіка (наприклад, для економіки США замість агрегування економіки до 65, використовувати агрегування до 400 секторів). При цьому одночасно необхідно

забезпечити подальшу деталізацію збору даних про випуск продукції по секторах економіки у фізичному (натуральному) вимірі.

Для визначення сумарних ексергетичних витрат на виробництво продукції для фірми, окрім даних таблиць 1, 2, також необхідно знати середні витрати ексергетичні на товари та послуги, що безпосередньо споживаються робітником як винагорода за його працю (аналог заробітної плати).

Було запропоновано (Бандура, 2016) метод визначення таких витрат: якщо підсумувати добуток величин персонального споживання в натуральному вимірі на величини питомих довгострокових сумарних ексергетичних витрат (exergy cost, $E_{s,i}$), LAC, для основних секторів економіки США та України у 2003 та 2011 роках (табл. 1, 2), а потім розділити цю величину на кількість робочої сили в зазначені роки, то отримаємо сумарні довгострокові витрати на утримання одиниці робочої сили в ексергетичних одиницях виміру (ексергетичний аналог нормальної заробітної плати), $E_{p,c}$. Результати розрахунків для економіки США для 2003 та 2011 років:

$$E_{p,c}^{2003} = 1723,3 \text{ МДж/людину}; E_{p,c}^{2011} = 1805,4 \text{ МДж/людину}.$$

Результати розрахунків для економіки України для 2003 та 2011 років:

$$E_{p,c}^{2003} = 810,7 \text{ МДж/людину}; E_{p,c}^{2011} = 891,2 \text{ МДж/людину}.$$

Оскільки сумарні довгострокові витрати на утримання одиниці робочої сили в ексергетичних одиницях виміру є прямо пропорційною до кількості величин товарів та послуг, що витрачається домогосподарствами на персональне споживання (що залежить від фази бізнес-циклу), та обернено пропорційна до кількості робочої сили в країні (що залежить від демографії, міграції, війни), то величина довгострокових витрат на утримання одиниці робочої сили в ексергетичних одиницях виміру також є коливальною.

Однак на відміну від питомих довгострокових сумарних ексергетичних витрат (exergy cost, $E_{s,i}$), LAC, на виробництво товарів та послуг, динаміка яких приймається спадною (або сталою), динаміка сумарних довгострокових витрат на утримання одиниці робочої сили в ексергетичних одиницях виміру (ексергетичний аналог нормальної заробітної плати), $E_{p,c}$, має бути зростаючою, що відображає зусилля урядів для постійного зростання рівня життя в країні. Тобто, якщо в момент часу (t) величина $E_{p,c}$ є більшою, ніж у момент часу ($t + 1$), то для розрахунків ексергетичної собівартості (LAC) на момент часу ($t + 1$) потрібно використовувати величину $E_{p,c}$ на момент часу (t).

Розглянемо основні принципи ексергетичного (енергетичного) методу оцінки ефективності інновацій на різних ієрархічних рівнях економічної системи.

Мікрорівень (фірма) та рівень сектору економіки

Для урахування витрат на послуги у собівартості продукції фірми в ексергетичному вимірі можна використати інформацію про необхідну кількість людино-годин для надання послуги. Наприклад, з табл. 1 видно, що надання юридичних послуг (сектор № 41, табл. 1) потребує витрат ексергії в середньому 1925,52 МДж/люд для цього сектору економіки фактично протягом року. Якщо припустити, що ці послуги здійснюються 12 місяців, кожен з 20 робочих днів місяця та по 8 годин кожного дня, то витрати на юридичні послуги для фірми, що їх використовує, становитимуть $1925,52/12/20/8 = 1,0$ МДж/людину за кожну годину їх використання фірмою. Тому для врахування юридичних послуг у собівартості продукції фірми достатньо знати кількість годин послуги, що використовує фірма для виробництва одиниці власної продукції.

Аналогічним чином можна підрахувати у собівартості продукції фірми і витрати ексергії для тих секторів економіки, для яких невідома кількість продукції, що виробляється, а лише відома кількість працівників, що її виробляють. Але в цьому разі необхідно знати середню кількість годин, що витрачається на виробництво продукції. Наприклад, якщо час виготовлення комп'ютера (сектор №11, табл. 1) становить 2 години, то довгострокові середні ексергетичні витрати на його виготовлення становили у 2011 році: $3964,97 / 12 / 20 / 8 * 2 = 4,13$ МДж/одиницю (якщо припустити, що виробництво здійснюється 12 місяців, кожен з 20 робочих днів місяця та по 8 годин кожного дня).

Динаміка будь-якого економічного показника, що залежить від ринкових умов, є коливальною. Такого роду динаміку мають показники в монетарному вимірі. Натомість крива LAC в ексергетичних одиницях може бути або спадаючою (за ефективної інноваційної політики), або горизонтальною (за відсутності ефективних інновацій) (див. табл. 1). Це дозволяє запропонувати показник *відносної інноваційної ефективності фірми* ($\Delta E_{f,i}$), який дозволяє оцінити зміни у технологічній ефективності фірми щодо ефективності відповідного сектору економіки. Іншими словами, цей показник оцінює, наскільки зміниться технологічна ефективність фірми внаслідок впровадження нею інновацій у порівнянні з середніми питомими витратами ресурсів в ексергетичному вимірі для *i*-го сектору, тобто *ступінь інноваційної ефективності фірми* можна визначити як:

$$\Delta E_{f,i} = (E_{s,i} - E_{f,i}) / E_{s,i}, \quad (1)$$

де $E_{s,i}$ – середні ексергетичні витрати (LAC) в *i*-му секторі економіки; $E_{f,i}$ – середні ексергетичні витрати фірми.

Для визначення ($E_{f,i}$) потрібно мати дані про витрати виробничих ресурсів у натуральному вимірі *для фірми*, які можна помножити на відповід-

ні питомі ексергетичні витрати для секторів економіки з табл. 1, 2, щоб отримати питомі ексергетичні витрати (exergy cost) для фірми.

Якщо витрати фірми після впровадження інновації будуть нижчими за секторальні, то така інновація є ефективною як з точки зору фірми, так і з точки зору економіки в цілому. І чим більшою буде ця різниця, тим ефективнішою буде інновація, тим ефективніше можуть бути витрачені кошти та стимуляцію та підтримку інновацій (інноваційної політики).

Однак, якщо витрати фірми після впровадження інновації будуть вищими за секторальні, то такі витрати фірми важко взагалі вважати інновацією, а скоріше марним витрачанням ресурсів з точки зору економіки в цілому. Хоча на рівні окремої фірми таке витрачання не буде марним, якщо витрати цієї фірми зменшуються, але недостатньо, щоб досягти секторального рівня. У цьому разі може бути доцільним мінімізувати підтримку такого роду інновацій з боку держави (якщо взагалі здійснювати таку підтримку).

Таким чином, на мікрорівні процес визначення ефективності інновацій можна розділити на два етапи: 1) на першому етапі потрібно визначити: яка з можливих технологій виробництва є найбільш ефективною; 2) на другому етапі визначимо: чи є найбільш ефективна технологія інновацією.

Продемонструємо етапи процесу визначення ефективності інновацій на прикладі розрахунку середніх питомих витрат виробничих ресурсів (LAC) в ексергетичному вимірі. В табл. 3 наведені витрати виробничих ресурсів для трьох гіпотетичних технологій виробництва А, В, С, які використовуються в економіці України.

Таблиця 3

Розрахунок ефективності інновацій для трьох гіпотетичних технологій виробництва сільгосппродукції: А, В, С

Технологія	Виробничі ресурси / технологічні коефіцієнти			Випуск продукції, <i>m</i>	Питомі ексерг. витрати для технологій А, В, С, МДж/ <i>m</i>
	працівники, люд.	машини, од.	добрива, пестициди, <i>m</i>		
А	40 / 0,04	1 / 0,001	10 / 0,01	1000	37,94
В	30 / 0,03	3 / 0,003	17 / 0,017	1000	31,00
С	20 / 0,02	5 / 0,005	25 / 0,025	1000	24,27
Питомі ексерг. витрати (LAC) на виробничі ресурси (табл. 2)	891,2 МДж/люд.	2898,31 МДж/од.	199,74 МДж/ <i>t</i>	–	–

Джерело: авторські розрахунки.

Для коректного порівняння технологій маємо припустити однаковий випуск продукції для всіх трьох технологій (1000 т). Тоді технологічні коефіцієнти (у фізичному вимірі) отримаємо як результат ділення витрат певного ресурсу на випуск продукції. Припустимо, що норма прибутку на капітал становить 10% ($r = 0,1$). У цьому разі питомі ексергетичні витрати (E_{x_1}), наприклад, для технології (А) сектору №1 (табл. 1, 2) дорівнюють: $E_{x_1} = 0,04 * 891,2 + 0,001 * 2898,31 * 0,1 + 0,01 * 199,74 = 37,94$ МДж/т. Аналогічно розраховуються питомі ексергетичні витрати для технологій В і С.

Як видно з табл. 3, найбільш ефективною технологією виробництва є технологія (С). На відміну від монетарних оцінок ефективності технологій, для яких оптимальною теоретично може бути будь-яка з трьох названих технологій залежно від співвідношення цін на виробничі ресурси, ексергетичний оптимум є єдино можливим і тільки технологія (С) може бути оптимальною.

У такий спосіб ми визначили, яка з можливих технологій виробництва є найбільш ефективною. При цьому в запропонованому тут методі оцінка технічної (технологічної) ефективності одночасно визначає і економічну (цінову) ефективність.

Вочевидь технологія (С) є одночасно й інновацією для економіки України з точки зору сектору економіки, оскільки питомі ексергетичні витрати на технологію (С), які дорівнюють 24,27 МДж/т (табл. 3) є меншими за витрати сектору, які дорівнюють 39,2 МДж/т (табл. 2, сектор №1). Тож якщо витрати фірми були б більшими за витрати галузі, то технологія (С) не була б інновацією з точки зору сектору економіки України, хоча могла б залишатися інновацією для фірми, якщо ця технологія залишалася оптимальною для фірми. При цьому за формулою (1) можна кількісно оцінити ступінь інноваційної ефективності фірми в порівнянні з відповідним сектором економіки України, тобто:

$$\Delta E_{f,i} = (E_{s,i} - E_{f,i}) / E_{s,i} = (39,2 - 24,27) / 39,2 = 0,37 \text{ (37\%)}$$

Однак технологія (С) не є інновацією для економіки США з точки зору сектору економіки, оскільки питомі ексергетичні витрати відповідного сектору дорівнюють 19,65 МДж/т (табл. 1, сектор №1), що менше за витрати за технологією (С). Тобто ця технологія не відповідає кращим світовим стандартам. При цьому за формулою (1) можна кількісно оцінити ступінь відносної інноваційної ефективності фірми в порівнянні з кращими світовими аналогами, наприклад, відповідним сектором економіки США, тобто:

$$\Delta E_{f,i} = (E_{s,i} - E_{f,i}) / E_{s,i} = (19,65 - 24,27) / 19,65 = -0,24 \text{ (-24\%)}$$

Від'ємний показник показує, наскільки ця технологія поступається кращим світовим аналогам. Натомість позитивний показник ступеня ефек-

тивності інновацій (1) означає, що фірма є інноваційною з точки зору сектору економіки. Він також показує, наскільки ця технологія *перевершує світові стандарти* у разі порівняння з секторами економіки країн, що відповідають світовим стандартам. У такий спосіб можна визначити, чи є найбільш ефективна технологія інновацією.

Макрорівень

Для оцінки впливу інноваційної політики на економіку в цілому, сумарної ефективності інновацій на макрорівні можна запропонувати свого роду *індекс інноваційної ефективності економіки*, або *індекс довгострокових сумарних ексергетичних витрат (LAC)*, формула якого по своїй структурі є аналогічною до формули індексу цін за дефлятором ВВП. При цьому базовим роком можна обрати будь-який рік, щодо якого здійснюється порівняння. Наприклад, для випадків економік США та України, що тут розглядаються, базовим роком можна обрати 2003 рік. Тоді ефективність інновацій у 2011 році може бути оцінена щодо обраного базового року. Таким чином, відносний приріст *індексу інноваційної ефективності економіки*, або *індексу довгострокових сумарних ексергетичних витрат (LAC)*, можна представити, як:

$$\Delta E_e = (E_{2003} - E_{2011}) / E_{2003} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{2003} X_{2003})}{\sum_{i=1}^n (E_{2003}^{base} X_{2003})} - \frac{\sum_{i=1}^n (E_{2011} X_{2011})}{\sum_{i=1}^n (E_{2003}^{base} X_{2011})}. \quad (2)$$

Цей показник характеризує *ступінь зниження довгострокових сумарних ексергетичних витрат (LAC) для економіки в цілому* внаслідок запровадження інновацій в усіх секторах економіки протягом досліджуваного періоду часу.

Вочевидь за такого визначення базового року *індекс інноваційної ефективності*, або *індекс довгострокових сумарних ексергетичних витрат (LAC)*, економік США та України за 2003 рік дорівнює одиниці. Результати авторських розрахунків відносного приросту цього індексу (ΔE_e) з 2003 по 2011 роки за авторськими розрахунками дорівнюють:

$$\text{– для економіки США } \Delta E_e = \frac{(1 - 0,94)}{1} = 0,06 = 6,0\%; \quad (3)$$

$$\text{– для економіки України } \Delta E_e = \frac{(1 - 0,898)}{1} = 0,102 = 10,2\%. \quad (4)$$

Точки зростання

Запропонований тут індекс інноваційної ефективності може бути використаний також для визначення так званих точок зростання, тобто визначення секторів економіки, інвестування в які дозволить підвищити *інно-*
 ISSN 1811-3141. Економічна теорія. 2025. № 3 97

ваційну ефективність економіки в цілому (за формулою (2)). Це можна зробити в два етапи.

На першому етапі можна відстежувати динаміку питомих довгострокових ексергетичних витрат (LAC) для кожного сектору економіки, порівнювати дані цього показника за різні періоди часу (табл. 1, 2) з метою визначення найбільш ефективних технологій виробництва на рівні сектору економіки. З цією метою можна запропонувати формулу, аналогічну до формули (1), яка дозволить розрахувати показник *відносної інноваційної ефективності сектору економіки* ($\Delta E_{s,i}$), тобто:

$$\Delta E_{s,i} = (E_{s,i}^t - E_{s,i}^{t+1}) / E_{s,i}^t, \quad (5)$$

де $E_{s,i}^{t+1}$ – питомі довгострокові ексергетичні витрати для i -го сектору економіки в момент часу ($t+1$); $E_{s,i}^t$ – питомі довгострокові ексергетичні витрати для i -го сектору економіки в момент часу (t).

Наприклад, для сільськогосподарського сектору економіки України (табл. 2, сектор №1) цей показник дорівнює:

$$\Delta E_{s,1} = (E_{s,1}^{2003} - E_{s,1}^{2011}) / E_{s,1}^{2003} = (58,78 - 39,2) / 58,78 = 0,333 = 33,3\%. \quad (6)$$

Таким чином, питомі довгострокові ексергетичні витрати (LAC) для сектору сільського господарства економіки України з 2003 по 2011 роки зменшились на 33%, що свідчить про достатньо ефективну інвестиційну та інноваційну політику в цьому секторі.

На другому етапі, маючи дані про найбільш ефективні технології виробництва на рівні фірми, можна оцінити, наскільки зміниться індекс інноваційної ефективності країни, якщо інвестувати в цей сектор з метою зниження секторальних витрат до рівня найбільш ефективної фірми. Наприклад, якщо поточні ексергетичні витрати для сектору виробництва сільгосппродукції в Україні становлять $E_{s,1} = 39,2$ МДж/кг, а витрати найефективнішої фірми дорівнюють $E_{f,i} = 24,27$ МДж/кг, то за інших рівних умов в решті секторів економіки України можна визначити, наскільки зміниться індекс інноваційної ефективності країни саме завдяки інноваціям у секторі сільського господарства, якщо витрати найефективнішої фірми України дорівнюватимуть витратам цього сектору (ΔE_e^1), тобто за авторськими розрахунками:

$$\Delta E_e^1 = (1 - 0,869) / 1 = 0,131 = 13,1\%. \quad (7)$$

Тобто за рахунок інвестицій у сектор сільського господарства, якщо витрати найефективнішої фірми України дорівнюватимуть витратам цього

сектору (тобто $E_{f,i} = 24,27$ МДж/кг), можна було б підвищити індекс інноваційної ефективності економіки в цілому на $\Delta\Delta E_e^1 = (7) - (4) = 13,1 - 10,2 = 2,9\%$.

Таким чином, цілком доцільно було б інвестувати в розповсюдження саме цієї найкращої технології виробництва в цьому секторі економіки, здійснювати також державну підтримку цього процесу.

Також можна визначити індекс інноваційної ефективності економіки, якщо витрати сектору сільського господарства України дорівнюватимуть витратам цього ж сектору, але для економіки США (табл. 1, № 1). Тобто, якщо б в Україні можна було підвищити ефективність виробництва в секторі сільського господарства до рівня відповідного сектору в економіці США ($E_{s,1} = 19,65$ МДж/кг). Тоді величина індексу інноваційної ефективності для економіки України, за авторськими розрахунками, становила б:

$$\Delta E_e^1 = (1 - 0,860) / 1 = 0,14 = 14,0\%. \quad (8)$$

Тобто за рахунок інвестицій у сектор сільського господарства, якщо б довгострокові середні витрати сільськогосподарського сектору економіки України дорівнювали б аналогічним витратам такого самого сектору економіки США (тобто $E_{s,i} = 19,65$ МДж/кг, табл. 1, сектор №1), то можна було б підвищити індекс інноваційної ефективності національної економіки в цілому на $\Delta\Delta E_e^1 = (8) - (4) = 14 - 10,2 = 3,8\%$.

Розрахунки доводять, що сектор сільського господарства можна розглядати як точку економічного зростання, інвестиції в який не тільки підвищать конкурентоспроможність продукції сектору, але й сприятимуть прискоренню економічного зростання національної економіки.

Здійснюючи такого роду розрахунки для кожного з секторів, можна визначити найбільш ефективні сектори економіки для інвестицій, так звані точки зростання. При цьому приріст в економічному зростанні зумовлений принаймні чотирма чинниками: 1) зниження довгострокових середніх витрат (LAC) дозволить збільшити пропорційно грошову масу, не збільшуючи при цьому інфляційного тиску; 2) вивільнення додаткових виробничих ресурсів для економічного зростання завдяки зниженню витрат; 3) зменшення різниці між індексами "природних" та ринкових цін, що, згідно зі СМІ-моделлю бізнес-циклів, сприяє прискоренню темпів економічного зростання (Бандура, 2016); 4) зниження витрат в ексергетичному вимірі зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище, оскільки менше видобувних природних ресурсів потрібно для виробництва кожної одиниці продукції.

Таким чином, у роботі запропоновано кількісні показники оцінки ефективності інновацій на різних ієрархічних рівнях економічної системи: *ступінь інноваційної ефективності фірми; ступінь інноваційної ефектив-*

ності сектору економіки, ступінь інноваційної ефективності економіки в цілому. В рамках цих показників технічна (технологічна) та економічна (цінова) ефективності об'єднані в одному показнику, що підвищує однозначність та ефективність оцінок інновацій. Запропоновано методику визначення "точок економічного зростання економіки" з використанням цих показників. Розраховано питомі довгострокові ексергетичні витрати для основних секторів економік США та України як базу даних для розрахунку зазначених кількісних показників оцінки ефективності інновацій. Запропонований у статті підхід та методологія кількісної оцінки ефективності інновацій дозволяє позбутися основних недоліків існуючих методів їх оцінки, визначених у першій частині цієї роботи.

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>

References

1. Bandura, O.V. (2016). General economic cycles model – cumulative inefficiency model. *Ekon. teor. – Economic Theory*, (1), 86-100. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/etet2016.01.086>

Надходження до редакції / Received – 5 серпня 2025 року / August 5, 2025

Прорецензовано / Reviewed – 19 серпня 2025 року / August 19, 2025

Підписано до друку / Signed to print – 22 вересня 2025 року / September 22, 2025