

**Д. Ю. Череватський**, д.е.н.

ORCID 0000-0003-4038-6393

e-mail: [cherevatskyi@nas.gov.ua](mailto:cherevatskyi@nas.gov.ua),

**О. В. Бойко**, аспірантка

ORCID 0000-0001-7301-724X

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

*Інститут економіки промисловості*

*НАН України, м. Київ*

## **ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАРАДОКС, ПОВ'ЯЗАНИЙ З НАДАННЯМ БЕЗКОШТОВНОГО ВУГІЛЛЯ ПРАЦІВНИКАМ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ**

На тлі буму публікацій зі сталого розвитку людства звертає увагу стаття під назвою «Нетландія чи Земля Майбутнього? Вирішення проблеми (не)сумісності між основними принципами ЦСР у Європі» [1]. Абревіатура ЦСР означає Цілі Сталого Розвитку, англійською SDG. Португальські автори, скоріше, не мали прихованих думок, але посил до роздумів дає вже перша фраза: "The 2015-2030 agenda framed Sustainable Development as a Universal venture" – Universal venture українською можна перекласти і як універсальне підприємство, і як всесвітній ризик. Можливо інтуїтивне розуміння всесвітнього ризику надихнуло згаданих аналітиків на висновок щодо потреби гармонізації стану довкілля з матеріальними тратами. І в цьому є резон, бо, як прямо надано у роботі [2], ексергетичний аналіз ігнорує такі критичні входи як капітал і праця.

Ексергія за поняттям є максимальною роботою, яку може здійснити термодинамічна система [3]. Енергетична рентабельність EROI (energy return on investment) [4, с. 25] зараз стало загальноживаним синонімом ексергетичного аналізу. Отже, енергетика живої праці залишається за межами аналізу енергетичної рентабельності. І минула робота [5] авторів цієї статті не є винятком, – дослідження наповненості екологічного рюкзака шахти з видобутку залізної руди не мають будь-яких пов'язаних з живою працею біотичних та абіотичних складових. У такому ігноруванні є певний сенс: потужність людської праці (м'язової праці) на підприємствах зараз є набагато меншою, ніж потужність технологічного обладнання

(машин). Тому ідеологи оцінки загальної енергоємності виробництва вдаються до підміни: вони враховують не витрати фізичної енергії працівників, а споживання ними енергетичних ресурсів. Щоб переконатися у цьому достатньо розглянути наукові положення, наприклад, статей [6] або [7]: у першій використовують енергетичні показники макrorівня, у другій – макроенергетичні та макроекономічні показники. Це не змінює характеру енергетичної диспропорції між людською і машинною працею – машини явно домінують. Підтвердження цьому також можна знайти у працях вітчизняних і зарубіжних науковців [8-11]. Але ситуація здатна обернутися. За положеннями Гірничого закону України «... підприємства з видобутку вугілля та вуглебудівні підприємства безоплатно надають вугілля на побутові потреби у розмірі, що визначається колективним договором» [12, ст. 43]. За Галузевою угодою між Міністерством вугільної промисловості України, іншими державними органами, власниками (об'єднаннями власників), що діють у вугільній галузі, і всеукраїнськими профспілками вугільної промисловості від 3 липня 2001 р. «безоплатне забезпечення вугіллям працівників і пенсіонерів вугільної промисловості здійснюється за нормою 5,9 т на рік (приблизно 4,2 т у.п., коментар авторів) на будинок або квартиру без центрального опалення. Списки вуглеотримувачів складаються щорічно»<sup>1</sup>. У разі квартир з центральним опаленням діють заходи з компенсації комунальної оплати за рахунок місцевих бюджетів на надання пільг «із розрахунку вартості 3,1 тонни вугілля на побутові потреби на домогосподарство» [6]. Система є чинною і зараз, що демонструє, наприклад, складений у 2022 р. колективний договір ДП «Добропіллявугілля-видобуток»: «Безоплатне забезпечення вугіллям працівників і пенсіонерів, які отримали таке право працюючи на шахтах «Добропілляська», «Алмазна», «Білицька», «Новодонецька», «Піонер» та інших підрозділах, які увійшли до складу ДП «Добропіллявугілля-видобуток», незалежно від організаційно-правової форми попередніх підприємств, найманих і виборних працівників профспілкових органів здійснюється за нормою 5,9 т на рік на будинок...»<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Галузева угода між Міністерством вугільної промисловості України, іншими державними органами, власниками (об'єднаннями власників), що діють у вугільній галузі, і всеукраїнськими профспілками вугільної промисловості від 3 липня 2001 року. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN65437>.

<sup>2</sup> Колективний договір ДП «Добропіллявугілля-видобуток» (2022 р.). URL: [https://uszn-dobr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/Колективний-договір-Добропіллявугілля-видобуток\\_compressed.pdf](https://uszn-dobr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/Колективний-договір-Добропіллявугілля-видобуток_compressed.pdf).

Отже, сама присутність працівника у штаті вугільного підприємства надає йому право привласнити частку виробленого продукту в розмірі майже 4,2 т у.п., що інституціонально є визначенням річного енергетичного еквіваленту його праці. Уперше норми безкоштовного вугілля в контексті визначення EROI вітчизняного палива було використано в роботі [13], але тоді дослідники не звернули уваги на масштабність енергетичного явища для підприємств з великою чисельністю персоналу. Тому метою цієї статті є доведення наявності на вугільних підприємствах енергетичного парадоксу, пов'язаного з більш високим впливом на загальну енергоємність шахт змін властивих персоналу енергетичних витрат, ніж ресурсів, що спожиті в технологічній сфері шахти.

Методи і матеріали дослідження. Мета дослідження передбачає оцінку значущості впливу енергетичних ресурсів, пов'язаних з живою працею, на функцію відгуку  $Y$ , яка є сумою повних енергетичних витрат підприємства.

$$Y = E_s + E_p, \quad (1)$$

де  $E_s$  – річні витрати електроенергії і палива по підприємству, тис. т у.п.;

$E_p$  – енергетичні витрати живої праці за інституціональним методом по підприємству за рік, тис. т у.п.

Наряду із загальнонауковими методами (абстрагування, аналізу і синтезу) в ході досліджень використано метод Бокса-Вілсона (багатофакторного експерименту) [14].

За методом Бокса-Вілсона

$$Y = \lambda (x_1, x_2, \dots x_j), \quad (2)$$

де  $\lambda(x_j)$  – саме  $\lambda$  є функція відгуку, на яку впливають чинники, які надані у стандартизованому вигляді (від  $-1$  до  $+1$  незалежно від їх природи).

Стандартизація значень чинників має здійснюватися за формулою

$$x_j = \frac{X_j - X_0}{I_j}, \quad (3)$$

де  $x_j$  – кодоване значення чинника;

$X_j$  – натуральне значення чинника;

$X_0$  – натуральне значення основного рівня чинника (нульовий рівень);

$I_j$  – інтервал варіювання основного рівня.

Функція відгуку постульована у виді поліному першого ступеню

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_j x_j, \quad (4)$$

де  $b_0, b_j$  – коефіцієнти регресії: вільний член і ті, що відповідають чинникам.

Доречно розглядати функцію відгуку, що знаходиться під впливом трьох чинників:

$X_1 = E_s$  – річні витрати електроенергії та палива по підприємству;

$X_2$  – питомі енергетичні витрати, що пов'язані з живою працею (норма надання безкоштовного вугілля);

$X_3$  – розмір підприємства (якісний чинник: велике/невелике), обумовлює обсяги витрат енергетичних ресурсів і кількість штату працівників відповідно до потужності виробництва.

$$E_p = X_2 \times N, \text{ т у.п.}, \quad (5)$$

де  $N$  – чисельність працівників, осіб;

Кожен чинник підлягає варіюванню на двох рівнях, верхньому і нижньому, тому кількість дослідів повного факторного експерименту складає  $2^n$ , де  $n$  означає кількість чинників. При трьох чинниках кількість дослідів дорівнює 8.

Варіювання чинників має здійснюватися за певним планом-матрицею експерименту.

У роботі прийнято такі дані, що характеризують підприємства (табл. 1).

Таблиця 1

**Дані, що характеризують підприємства та енергоємність трудовитрат**

Показник	Велике підприємство	Невелике підприємство	Джерело інформації
Річна потужність з видобутку вугілля, тис. т	1150	380	[5]
Річне споживання електроенергії, тис. т у.п.	6	2	[5]
Річне споживання палива, тис. т у.п.	6	2	[5]
Сумарне річне споживання енергетичних ресурсів, тис. т у.п.	12	4	
Чисельність персоналу, осіб	4700	1960	Дані підприємства
Річна норма надання безкоштовного вугілля працівнику, т у.п./люд.	4,2		[8]

За категорією «Велике підприємство» прийнято вугільну шахту «Південнодонбаська» № 1, за категорією «Невелике підприємство» – вугільну шахту «Родинська» ДП «Мирноградвугілля» (обидві з Донецької області України).

Вугільні шахти є не лише великими споживачами електричної, а й теплової енергії, а також моторного палива. В цілому сумарні витрати палива (вугілля в котельнях, природного газу, бензину та дизельного палива) близькі до витрат електричної енергії.

Результати досліджень та їх обговорення. Дані щодо рівнів завдання чинників надано у табл. 2.

Таблиця 2

**Значення рівнів завдання чинників**

Чинник	Одиниця виміру	Нижній рівень	Основний рівень	Верхній рівень	Інтервал
$X_1$	тис. т у.п.	10	12	14	2
		2	4	6	2
$X_2$	т у.п./люд.	2	3	4	1
$X_3$		Невелике підприємство		Велике підприємство	

Повному факторному експерименту з трьома чинниками відповідає матриця виду 2(3-0) (табл. 3).

Таблиця 3

**План експерименту та результати обчислення енергоємності трудовитрат та функції відгуку**

Номер досліджу	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$E_{p3}$	$Y_3$
1	-1	-1	-1	3,9	5,9
2	1	-1	-1	3,9	9,9
3	-1	1	-1	7,8	9,8
4	1	1	-1	7,8	13,8
5	-1	-1	1	9,4	19,4
6	1	-1	1	9,4	23,4
7	-1	1	1	18,8	28,8
8	1	1	1	18,8	32,8

Умови проведення другого, наприклад, досліджу означають, що перший чинник (сумарні витрати електроенергії та палива) потрібно прийняти на верхньому рівні, другий чинник потрібно задати на нижньому рівні, всі розрахунки щодо енергоємності трудовитрат запровадити стосовно невеликого підприємства.

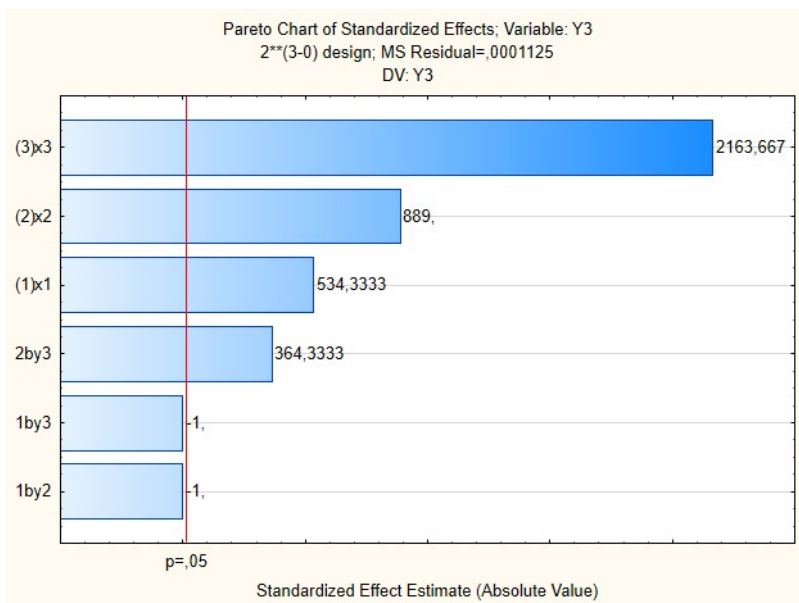
Отже, за умовами другого досліджу:

$$E_s = 6 \text{ тис. т у. п.};$$

$$E_p = 2,0 \times 1960 \times 10^{-3} = 3,920 \text{ тис. т у. п.};$$

$$Y = 6,0 + 3,9 = 9,9 \text{ тис. т у. п.}$$

Обробка даних табл. 3 за допомогою методів математичної статистики (регресійний аналіз) дає можливість оцінити значущість чинників та силу їх впливу на функцію відгуку. Рисунок відображає діаграму Парето, яка відповідає вказаній моделі.



**Рисунок. Діаграма Парето, що характеризує впливовість чинників  $x_i$  на функцію відгуку  $Y$**

Модель регресії за статистично значущими чинниками має вигляд

$$Y = 17,986 + 2,004x_1 + 3,333x_2 + 8,114x_3 + 1,366x_{23}. \quad (6)$$

Оскільки чинники надано у стандартизованому вимірі, значення коефіцієнту перед чинником характеризує його впливовість: найсильніший вплив на функцію відгуку, як також видно з рисунку, має чинник  $x_3$ , далі за порядком впливу чинників на функцію відгуку йдуть другий і перший. І в цьому є парадокс – в ситуації, що розглядається, чинник, пов'язаний з чисельністю персоналу, є більш

потужним, ніж енерговитрати технологічних споживачів самого підприємства. Покажемо є й те, що статистичної значущості набув ефект парних взаємодій другого і третього чинників. Чинник парних взаємодій це добуток чинників  $x_{23} = x_2 * x_3$ . Якщо перемінні одного знаку, добуток має знак «плюс», якщо різного, – знак «мінус», тобто, коли зазначені перемінні знаходяться на однакових рівнях (обидва на верхньому або навпаки), вони підсилюють дію один одного, якщо знаходяться на різних рівнях (один на верхньому, другий – на нижньому) – послаблюють. Інші ефекти парних взаємодій не є значущими.

*Dura lex, sed lex* – давня латинська приказка у перекладі означає: «Закон суворий але це закон». Виявлений парадокс має інституціональну природу: надання персоналу безкоштовного палива на побутові потреби принципово змінює картину енергетичних витрат по підприємству.

Недооцінка впливу чисельності персоналу на енергетичні аспекти діяльності підприємства здатна призвести до суттєвих помилок щодо економіки функціонування фірми.

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили досягти поставленої в роботі цілі – на тлі дії положень Гірничого закону України виявлено парадокс, за яким зміни норм надання робітникам вугільних підприємств безкоштовного вугілля мають більший вплив на енергетику шахт, ніж зміни обсягів споживання енергетичних ресурсів технологічними агрегатами.

У процесі багатофакторного експерименту за методом Бокса-Вільсона визначено, що самий сильний вплив на функцію відгуку має якісний чинник, яким є розмір підприємства (велике/мале), другим за силою є вплив кількості безкоштовного вугілля, що надається робітнику, третім – споживання енергетичних ресурсів власне технологічними агрегатами шахти. Статистично значущим є також ефект парних взаємодій чинників розміру підприємства і кількості безкоштовного вугілля, що надається робітнику.

Виникнення енергетичного парадоксу має суто інституціональну природу. За існуючими положеннями, що обумовлені дією Гірничого закону України, норма надання безкоштовного вугілля становить 5,9 т на робітника/домогосподарство.

На підставі варіювання чинників за планом-матрицею експерименту одержано регресійну залежність функції відгуку від чотирьох чинників, що дозволяє прогнозувати загальні енергетичні затрати виробництва.

## Література

1. Costa J., Cancela D., Reis J. Neverland or Tomorrowland? Addressing (In)compatibility among the SDG Pillars in Eu-ropе. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. No.18. Paper 11858. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182211858>.
2. Hau J. L., Bakshi B. R. Expanding exergy analysis to account for ecosystem products and services. *Environ. Sci. Technol.* 2004. Vol. 38. P. 3768-3777. DOI: <https://doi.org/10.1021/es034513s>.
3. Szargut J., Petela R. Exergy. Warsaw: WNT, 1965.
4. Hall C. A. S., Balogh S. and Murphy D. J. R. What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? *Energies*. 2009. Vol. 2(1). P. 25-47. DOI: <https://doi.org/10.3390/en20100025>.
5. Череватський Д. Ю., Бойко О. В. Пергесійна модель екологічного рюкзака українського вугілля. *Вісник економічної науки України*. 2022. № 2 (43). С. 41-45. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.2\(43\).41-45](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.2(43).41-45).
6. Giampietro M., Pimentel D. Assessment of the energetics of human labor. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1990. Vol. 32 (3-4). P. 257-272, DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(90\)90164-9](https://doi.org/10.1016/0167-8809(90)90164-9).
7. Панченко Г. Г. Повна енергоємність трудовитрат. *Актуальні питання розвитку сучасної економіки, управління та адміністрування: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 28 грудня 2019 р.)*. Київ: Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського, 2019. Ч. 2. С. 43-46.
8. Білодід В. Д. Оцінювання ефективності енергетичних технологій за методологією визначення повних енергетичних витрат. *Проблеми загальної енергетики*. 2012. № 3. С. 12-18.
9. Маляренко О. Є., Станіцина В. В. Удосконалена методика визначення повної енергоємності продукції для багатопродуктових виробництв. *The problems of general energy*. 2021. № 2(65). P. 12-20. DOI: <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.012>.
10. Бендог В. І., Комариста Б. М. Життєвий цикл продукту та оцінювання енергетичних витрат. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. 2018. № 35(1311). DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0821.2018.35.01>.
11. Rocco M. V. (2016). Accounting for human labour in LCA: a novel Input-Output approach. In *Atti del X Convegno della Rete Italiana LCA*. Ravenna, 2016. P. 466-474.
12. Гірничий Закон України. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. № 5. Ст. 433.
13. Cherevatskyi D., Atabyekov O. EROI of the Ukrainian coal. *Економічний вісник Донбасу*. 2017. № 4 (50). С. 20-31.
14. Draper N. R. Introduction to Box and Wilson (1951) on the experimental attainment of optimum conditions. *Breakthroughs in Statistics: Methodology and Distribution*. 1992. P. 267-269. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_22).

## References

1. Costa, J., Cancela, D., Reis, J. (2021). Neverland or Tomorrowland? Addressing (In)compatibility among the SDG Pillars in Eu-ropе. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, no. 18, paper 11858. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182211858>.



2. Hau, J. L., Bakshi, B. R. (2004). Expanding exergy analysis to account for ecosystem products and services. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 38, pp. 3768-3777. DOI: <https://doi.org/10.1021/es034513s>.
3. Szargut, J., Petela, R. (1965). *Exergy*. Warsaw, WNT.
4. Hall, C. A. S., Balogh, S. and Murphy, D. J. R. (2009). What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? *Energies*, Vol. 2(1), pp. 25-47. DOI: <https://doi.org/10.3390/en20100025>.
5. Cherevatskyi, D. Yu., Bojko, O. V. (2022). Rehresiina model ekolohichnoho riukzaka ukrainskoho vuhillia [Regression Model of Ecological Backpack Ukrainian Coal]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 2 (43), pp. 41-45. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.2\(43\).41-45](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.2(43).41-45) [in Ukrainian].
6. Giampietro, M., Pimentel, D. (1990). Assessment of the energetics of human labor. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 32 (3-4), pp. 257-272, DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(90\)90164-9](https://doi.org/10.1016/0167-8809(90)90164-9).
7. Panchenko, H. H. (2019). Povna enerhoiemnist trudovytrat [Full energy intensity of labor costs]. *Aktualni pytannia rozvytku suchasnoi ekonomiky, upravlinnia ta administruvannia* [Actual issues of the development of the modern economy, management and administration]: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. (Part 2, pp. 43-46). Kyiv, V. I. Vernadsky Tavri National University [in Ukrainian].
8. Bilodid, V. D. (2012). Otsiniuvannia efektyvnosti enerhetychnykh tekhnolohii za metodolohiietu vyznachennia povnykh enerhetychnykh vytrat [Estimating the efficiency of energy technologies according to the methodology of determining total energy costs]. *Problemy zahalnoi enerhetyky – Problems of general energy*, 3, pp. 12-18 [in Ukrainian].
9. Maliarenko, O. Ye., Stanitsyna, V. V. (2021). Udoskonalena metodyka vyznachennia povnoi enerhoiemnosti produktsii dlia bahatoproduktovykh vyrobnytstv [Improved method of determining the total energy intensity of products for multi-product production]. *The problems of general energy*. 2021. № 2(65). P. 12-20. DOI: <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.012> [in Ukrainian].
10. Bendiu, V. I., Komarysta, B. M. (2018). Zhyttievyy tsykl produktu ta otsiniuvannia enerhetychnykh vytrat [Product life cycle and evaluation of energy costs]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia – *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and ecology*, 35(1311). DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0821.2018.35.01> [in Ukrainian].
11. Rocco, M. V. (2016). Accounting for human labour in LCA: a novel Input-Output approach. *X Convegno della Rete Italiana LCA: Proceedings of the Conference*. (pp. 466-474). Ravenna.
12. Hirnychyi Zakon Ukrainy [Mining Law of Ukraine]. (1999). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 5, art. 433 [in Ukrainian].
13. Cherevatskyi D., Atabyekov O. (2017). EROI of the Ukrainian coal. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu – Economic Herald of the Donbas*, 4 (50), pp. 20-31.
14. Draper N. R. Introduction to Box and Wilson (1951) on the experimental attainment of optimum conditions. (pp. 267-269). *Breakthroughs in Statistics: Methodology and Distribution*. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_22).

*Надійшла до редакції 11.09.2023 р.*