



<https://doi.org/10.15407/econindustry2026.03.065>

УДК 338.2:622.013:657.47

JEL: O21

**Віталій Олександрович БАШ**, генеральний директор

E-mail: Bash.v@dch.com.ua; <https://orcid.org/0009-0008-1173-2174>

ПрАТ «Суха Балка»,

вул. Конституційна, 5, м. Кривий Ріг, 50029, Україна

## **СОБІВАРТІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ ДОБУВНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ: КОЛИ ТЕХНОЛОГІЯ ВПЛИВОВІША ЗА ГЛИБИНУ РОЗРОБКИ**

*На прикладі вугільної шахти «Південнодонбаська № 1» та ПрАТ «Суха Балка», що здійснює підземний видобуток залізної руди, доведено, що гірниче підприємство, яке працює на значно більшій глибині, може мати нижчу собівартість продукції. На підставі аналізу матеріальних потоків (метод екологічного рюкзака — MPrS) побудовано регресійні моделі маси екологічного рюкзака для вугільного та залізрудного виробництва. Виявлено істотні міжгалузеві відмінності абіотичної складової екологічного рюкзака, що свідчать про принципово різний характер технологій видобутку копалин.*

**Ключові слова:** добувна промисловість, глибина розробки, собівартість, технологія видобутку, екологічний рюкзак, матеріальні потоки, смарт-виробництво.

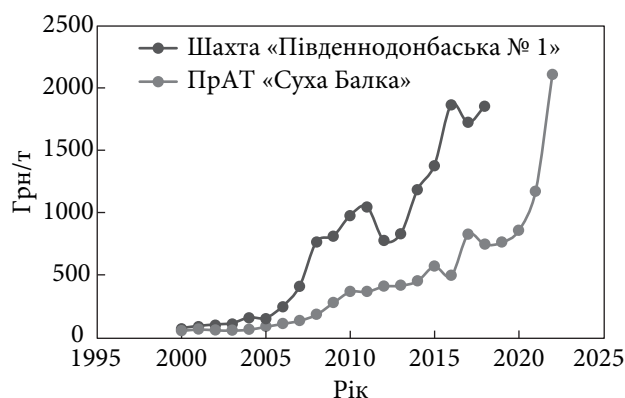
Підприємства з видобутку корисних копалин мають бути резильєнтними. Для цього властива їм собівартість виробництва має бути адаптована до закономірностей формування відповідних ринків (Амоша, Череватський, Баш, 2023).

Глибина розробок та пов'язаний із цим рівень розвитку підземного господарства визначають стан економіки добувного підприємства — такою є властива світовому гірництву аксіома (Camm, Stebbins, 2023), яка виникла ще у XIX ст. Промисловець В. Дж. Армстронг у 1863 р.

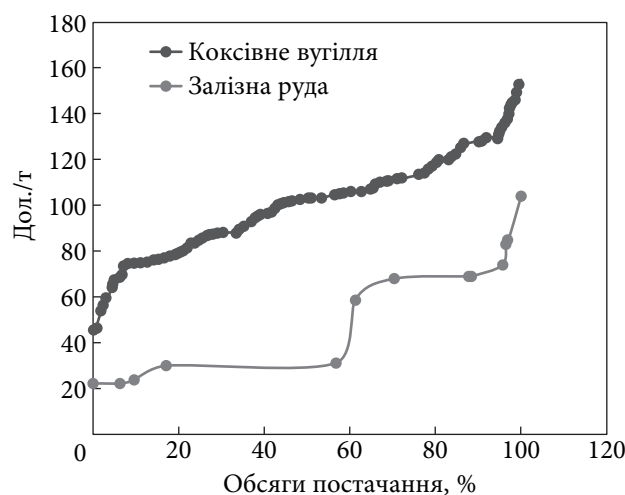
як президент Британської асоціації сприяння розвитку науки порушив питання про загрозу світовому пануванню Британії внаслідок вичерпання легкодоступних запасів вугілля (Foster, Clark, York, 2010). У відповідь представник маржиналістської наукової школи В. Ст. Джевонс у книзі «Вугільне питання: дослідження щодо прогресу нації та ймовірного виснаження наших вугільних шахт», яка вийшла у 1865 р., підтвердив, що розробка глибших пластів зупинить економічне зростання (Jevons, 2018).

Цитування: Баш В. О. Собівартість виготовлення продукції добувним підприємством: коли технологія впливовіша за глибину розробки. *Економіка промисловості*. 2026. № 3 (115). С. 65—74. <https://doi.org/10.15407/econindustry2026.03.065>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



**Рис. 1.** Динаміка собівартості товарної продукції вугільної шахти «Південнодонбаська № 1» і ПрАТ «Суха Балка», що добуває залізну руду шахтним способом  
Джерело: складено на підставі ретроспективних даних підприємств.



**Рис. 2.** Кумулятивні криві собівартості FOB світового експорту коксівного вугілля у 2014 р. й експорту залізної руди в Європу у 2025 р.  
Джерело: складено автором.

Стандарти CostMine<sup>1</sup> та моделі Sherpa<sup>2</sup> виокремлюють чинник глибини шахт як головний генератор OpEx (Operational Expenditures або Operating Expenses) — операційних витрат, тобто собівартості продукції, перш за все через активність шахтних вентиляційних (Kocsis, Hardcastle, 2003) і водовідливних (Sinchuk et al., 2022) установок. Енергозабезпечення лише провітрювання виробок потребує понад 40 % загальних

<sup>1</sup> The most comprehensive mine cost data, analytics, and global property database. <https://www.costmine.com>

<sup>2</sup> Sherpa Apex. <https://www.costmine.com/sherpa/sherpa-apex/>

витрат шахти на електрику, а витрати електроенергії на роботу насосних і шахтних підйомних установок щодо глибини зростають лінійно. До того ж із збільшенням глибини на кожні 100 м температура порід підвищується в середньому на 2,5—4 °С, що обумовлює необхідність спеціального кондиціонування повітря та призводить до суттєвого зростання капітальних і експлуатаційних витрат на вентиляцію (Halim, Kerai, 2013; Hardcastle, Kocsis, 2004).

Сьогодні дослідження щодо погіршення економічного стану добувних підприємств залежно від збільшення глибини гірничих робіт залишаються актуальними (Shvahr et al., 2019; Skrzypkowski et al., 2022; Kaczmarek, Kolegowicz, Szymła, 2022; An, Mu, 2025; Shakeri, Ghorbani, Taheri, 2026 та ін.). Водночас існують такі парадоксальні явища, як системна аберация міжгалузевого порівняння. Наприклад, введена в експлуатацію у 1973 р. вугільна шахта «Південнодонбаська» № 1, на якій видобуток вугілля переважно здійснювався на глибині до 620 м, має більшу собівартість товарної продукції, ніж ПрАТ «Суха Балка» з понад столітньою історією видобутку залізної руди шахтним способом на глибині, які наразі становить 1420 м (рис. 1).

Спостереження щодо зазначених підприємств є закономірними, що підтверджується кумулятивними кривими собівартості (Cumulative Cost Curve — CCC) світового експорту коксівного вугілля (Амоша, Залознова, Череватський, 2017) й експорту залізної руди, яка поставлялася в Європу у 2025 р. (рис. 2).

За результатами статистичних досліджень собівартість вугілля, яке у 2014 р. (пік світової кризи вугільної промисловості) в обсязі 155 млн т постачали на експорт 94 фірми, з імовірністю 0,95 становила  $100,8 \pm 4,7$  дол./т. Собівартість же залізної руди (144 млн т), яку постачали на європейські ринки у 2025 р., становила  $59,9 \pm 15,3$  дол./т. При цьому слід зауважити, що серед рудної продукції на європейських ринках були окатіші (шведської фірми LKAB та української Ferrexpo), які набагато дорожчі у виробництві, ніж сира руда. До того ж блокада українських портів спонукала вітчизняні компанії застосовувати залізничний транспорт не тільки для доставки руди до порту, а й далі, тому транспортні показники FOB збільшилися на 32—37 дол./т. Проте навіть суттєве збільшення собівартості залізничної продукції не змінило економічних

умов функціонування підприємств різних гірничодобувних галузей.

Вища собівартість за меншої глибини розробки у вугільній галузі дає підстави звернутися до феномену прихованих матеріальних потоків — шахта в процесі діяльності переробляє набагато більше матеріалів, ніж маса виробленої нею продукції (Schmidt-Bleek, 2001). Існує навіть метод оцінювання прихованих матеріалопотоків (Material Flow Analysis — MFA): від виготовлення товару (видобуток сировини, виробництво продукції, транспортування, збут) та використання (споживання, транспортування, ремонт) до поводження з відходами (Bringezeu, Yuichi, 2018; Laner, Rechberger, Astrup, 2014; Brunner, Rechberger, 2016). Стрижнева складова цілісної системи MIPs (Material input per unit of service) має назву «екологічний рюкзак» (Ecological rucksack).

Мета статті — на основі аналізу матеріальних потоків (екологічного рюкзака) довести, що технологія видобутку корисних копалин впливає на собівартість виготовлення продукції більшою мірою, ніж глибина розробки.

Група науковців з України, Канади та Австрії висунула ідею використання запропонованого Ф. Шмідтом-Блеком методу екологічного рюкзака для комплексного оцінювання ефективності діяльності підприємства з видобутку корисних копалин (Krasnyk et al., 2024). Стадії дослідження було обмежено лише виробництвом продукції.

До «чинників рюкзака» за MIPs-методом належать: біотичні матеріали, абіотичні матеріали, вода, повітря та переміщений ґрунт (Saurat, Ritthoff, 2013). Отже, чим більшою є маса екологічного рюкзака, тим гіршими для до-

бувного підприємства є умови експлуатації родовища загалом.

Регресійні моделі екологічного рюкзака вугільних шахт (Череватський, Бойко, 2023) та рудника ПрАТ «Суха Балка» (Krasnyk, Cherevatskyi, Smirnov, Bash, Bojko, Onachenko, 2024) було побудовано за методом багатофакторного експерименту Бокса-Вільсона (Mendenhall, Sincich, 2016) на підставі варіювання у стандартизованому вигляді (від  $-1$  до  $+1$ ) п'яти чинників (п'яти складових), що впливають на функцію відгуку, якою є власне маса екологічного рюкзака.

У зазначених роботах використано функцію відгуку:

$$y = \lambda(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5),$$

де  $y, \lambda(x_i)$  — функція відгуку (наповнення екологічного рюкзака), кг на 1 т товарної продукції;  $x_j$  — чинник, що має значення  $-1$  або  $+1$  незалежно від своєї природи;  $X_j$  — натуральне значення чинника;  $j$  — номер чинника.

Складові екологічного рюкзака:

- $x_1$  — біотичні матеріали;
- $x_2$  — абіотичні матеріали;
- $x_3$  — вода;
- $x_4$  — повітря;
- $x_5$  — видана на поверхню порода.

Варіювання чинників здійснено за матрицею повного факторного експерименту з виконанням 32 дослідів за кожною шахтою (вугільною та з видобутку руди). Загалом 64 досліді.

У таблиці наведено значення чинників із розподілом за нижнім і верхнім рівнями.

Із використанням методів математичної статистики одержано результати, що підтверджують наявність значимих відмінностей маси екологічного рюкзака шахт вугільної та залізрудної промисловості.

#### Значення чинників, кг/т

| $X_i$ | Вугільна шахта |                | Шахта з видобутку руди |                |
|-------|----------------|----------------|------------------------|----------------|
|       | нижній рівень  | верхній рівень | нижній рівень          | верхній рівень |
| $X_1$ | 25             | 30             | 2                      | 3              |
| $X_2$ | 115            | 125            | 8                      | 10             |
| $X_3$ | 700            | 800            | 525                    | 635            |
| $X_4$ | 1500           | 2500           | 5300                   | 6100           |
| $X_5$ | 550            | 650            | 120                    | 141            |

Джерело: складено за даними (Череватський, Бойко, 2023; Krasnyk, Cherevatskyi, Smirnov, Bash, Bojko, Onachenko, 2024).

Модель регресії для вугільної шахти має такий вигляд:

$$y_C = 3495 + 5x_2 + 50x_3 + 500x_4 + 50x_5,$$

де  $y_C$  — маса екологічного рюкзака вугільної шахти.

Оскільки вплив чинника  $x_1$  (біотичні матеріали) виявився статистично незначущим, його вилучено з моделі. Загальна характеристика регресійної моделі:  $R = 0,999$ ;  $R^2 = 0,999$ ; adjusted  $R^2 = 0,999$ ;  $F(4, 27) = 68857$ ;  $p < 0,0001$ ; Std. Error of Estimation: 5,433.

Модель регресії для рудної шахти:

$$y_{Fe} = 6420 + 0,5x_2 + 55x_3 + 400x_4 + 11x_5$$

де  $y_{Fe}$  — маса екологічного рюкзака шахти з видобутку руди.

Вплив чинника  $x_1$  (біотичні матеріали) виявився статистично незначущим, тому його вилучено з моделі. Загальна характеристика регресійної моделі:  $R = 0,999$ ;  $R^2 = 0,999$ ; adjusted  $R^2 = 0,999$ ;  $F(4, 27) = 4405 \cdot 10^3$ ;  $p < 0,0000$ ; Std. Error of Estimation: 0,5433.

Отже, екологічний рюкзак рудної шахти має набагато більшу масу, ніж екологічний рюкзак вугільної шахти, натомість коефіцієнт при абіотичному чиннику на порядок нижчий. При цьому в результаті аналізу даних ПрАТ «Суша Балка» доведено, що саме абіотичний чинник має прямий зв'язок із собівартістю рудної продукції (Череватський, Бойко, Баш, 2024):

$$C_{Fe} = 31,4 + 14,2x_2$$

Характеристика одержаної регресійної залежності:  $R = 0,826$ ;  $R^2 = 0,682$ ; Adjusted  $R^2 = 0,628$ ;  $F(3,18) = 12,836$ ;  $p < 0,00010$ ; Std. Error of estimate: 8,428.

Дослідження виконано на підставі спостережень 2000—2022 рр. Собівартість видобутої руди перераховано з урахуванням впливу інфляції за індексом «Big Мака» (BigMac Index) журналу «The Economist».

Парадокс щодо відсутності значущого впливу інших чинників екологічного рюкзака на собівартість рудної продукції має своє підґрунтя: шахтні вентиляторні, компресорні та водовідливні установки є найбільшими споживачами електричної енергії по шахті, що позначається на значенні абіотичної складової.

Одержані результати дають підстави стверджувати, що технологія виробництва справляє більший вплив на собівартість продукції, ніж глибина розробки та інші гірничотехнічні умови.

Відомий ще з пізнього Середньовіччя знак добувної промисловості — перехрещені гірничі молоток і кирка (у Німеччині — Schlägel und Eisen) — є загальним символом шахт і рудників, оскільки саме ці інструменти були невід'ємною частиною ручної шахтарської праці. Суттєва ж відмінність значень коефіцієнтів при чиннику  $x_2$  у регресійних моделях екологічних рюкзаків шахт із різних гірничодобувних галузей є свідченням вирішальної ролі технологій видобутку в економічних результатах діяльності підприємств. Середина ХХ ст. переломним періодом для вугільної промисловості — дістала розвитку комплексна механізація очисних робіт, яка потребує використання в очисному забої великої кількості гідравлічних кріплень, скребкових конвеєрів і очисних комбайнів; застосування аروحного кріплення з металевого прокату для підтримки виробок великої протяжності та ін. Натомість на рудних шахтах головним методом видобутку є буровибухові роботи. Це зумовило виникнення феномену, за якого технологія видобутку здатна переважати чинник глибини розробки у формуванні собівартості гірничих робіт.

Однак політика розвитку вугільної промисловості здійснювалася без уявлення про роль абіотичного чинника у трансформації економіки вугільних шахт, про що свідчать проекти так званої «Шахти майбутнього» (Тённес, 2004) — будь-яке нарощування продуктивності й енергоозброєності вибоїв. Квінтесенцією стала стругова лава на шахті Prosper-Haniel у Німеччині із загальною енергооснащеністю 3,6 МВт — унікальне збільшення абіотичного чинника (Трауд, 2006). Унаслідок використання смарт-технологій цю шахту у 2018 р. було ліквідовано.

В Україні теж підвищення виробничих можливостей (навантаження на вугільний вибій) розглядалося як можливість вирішення економічних проблем вуглевидобування: «Експлуатація п'яти комплексів МКД 90 з відповідною прохідницькою технікою і транспортними засобами дає річний приріст видобутку вугілля 1—1,5 млн т, що дорівнює введенню нової шахти... Щорічне введення в експлуатацію 15—20 комплексів дозволить за 3—4 роки виконати досить сміливі завдання розвитку галузі» (Лаптев, 2002). Однак, незважаючи на впровадження на шахтах галузі великої кількості зразків техніки високого рівня, економічна ситуація

національної вугільної промисловості ще більше погіршилася (Стариченко, 2012).

Дослідження щодо причин порушення залежності «глибина розробки — собівартість продукції гірничого підприємства» і виявлення значущості в цьому технології видобутку є новаторським напрямом, а одержаний результат — оригінальним. Разом із тим слід відзначити певну стриманість у ставленні до інноваційного розвитку гірничих технологій, яку демонструють у своїх працях науковці з Інституту економіки промисловості НАН України (Череватський, 2019; Cherevatskyi, Soldak, Lypnyskyi, 2023). Однак ідеологія Індустрії 4.0 залишається мейнстримом (Сосновська, Вакофян, 2022; Брюховецька, Черних, 2020; Raja Santhi, Muthuswamy, 2023; Rath, Khang, Roy, 2024), який поширюється на процеси механізації гірничих підприємств (Long et al., 2024; Ranjith et al., 2017). Наступний етап — застосування штучного інтелекту та повна роботизація виробництва (Vyshnevskyi et al., 2024).

Сьогодні Україна внаслідок бойових дій зазнала масштабних втрат у вугільній промисловості, водночас добувна галузь, зокрема підприємства з видобутку залізної руди, продовжує функціонувати. Одним із напрямів її розвитку є перехід до смарт-промисловості, що передбачає насамперед оснащення підприємств смарт-сервісами (Vyshnevskyi, 2023; Noori, 2023).

Технологічно безлюдна виїмка копалин все більше стає реальністю. Дистанційне управління прохідницьким вибоєм на глибині 600 м з поверхні за допомогою джойстиків<sup>3</sup> реалізовано в Сінцзяні (Китай) за технологією фірми Sandvik (Jakobs, 2021). Достатньо додати штучний інтелект, щоб система перетворилася на справжнє смарт-виробництво, яке замінить важку людську працю в надрах. Однак посилення абіотичного чинника може стати не стільки підривною інновацією, скільки явищем, здатним підірвати економіку: ERP, MES, датчики та аналітика — це взаємопов'язані зі смарт-виробництвом елементи (Череватський, Чейлях, Баш, 2025). ERP (Enterprise Resource Planning) є програмною системою для управління всім бізнесом; MES (Manufacturing Exe-

cution System) — система контролю та координації виробничих процесів на рівні цеху — оцінювання ресурсів (наявність сировини, персоналу, обладнання) та їх оптимальне використання для виробництва замовленої продукції. Шахти з видобутку руди можуть повторити долю шахт вугільної промисловості, оскільки збільшення стартових витрат (CAPEX) на впровадження смарт-промисловості сягає 150—300 % порівняно з традиційними підприємствами. Зазначений орієнтир узагальнено за результатами численних досліджень, здійснених у різних галузях 13 країн (Китай, Франція, Фінляндія, Німеччина, Японія, Індія, Італія, Південна Корея, Нідерланди, Іспанія, Швеція, Велика Британія, США)<sup>4</sup>. За оцінками Capgemini<sup>5</sup>, 56 % компаній інвестували 100 млн дол. і більше у свої смарт-ініціативи протягом п'яти років, а 20 % — понад 500 млн дол., що прямо вказує на високі стартові видатки.

«Технопесимізм» (Gordon, 2005; Gordon, 2000) має особливі підстави в гірничій справі. Попри поширення технологій вищого ґатунку, у світі відбувається вибухове зростання кустарного та дрібномасштабного видобутку корисних копалин — ASM (Fritz et al., 2018). У 2017 р. налічувалося близько 40,5 млн осіб, безпосередньо задіяних в ASM, у 2014 р. — 30, у 1999 р. — 130 а в 1993 р. — 6 млн осіб. Для порівняння: у 2013 р. кількість працівників у гірничодобувній промисловості офіційно становила лише 7 млн осіб. Незважаючи на низьку продуктивність, частка ASM у світовому видобутку корисних копалин також зростає. Близько 26 % світового виробництва танталу та 25 % олова, 20 % світової пропозиції золота припадає на ASM. Це означає, що практика гірничої справи орієнтується на пошук найпростіших технологічних рішень. Так, Vale, одна з найбільших у світі добувних корпорацій, стрімко впроваджує технології вилучення залізних рудних матеріалів із відходів виробництва<sup>6</sup>.

<sup>4</sup> Smart factories set to boost global economy by \$1.5 trillion by 2023. [https://www.capgemini.com/be-en/news/press-releases/smart-factories-set-to-boost-global-economy-by-1-5-trillion-by-2023/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.capgemini.com/be-en/news/press-releases/smart-factories-set-to-boost-global-economy-by-1-5-trillion-by-2023/?utm_source=chatgpt.com)

<sup>5</sup> Capgemini Is Pioneering Intelligent Industry for Life Sciences. <https://go.capgeminigroup.com/intelligent-industry-lifesciences>

<sup>6</sup> Vale to build iron ore processing plant focused on tailings. [https://www-mining-com.translate.goog/web/vale-to-build-new-iron-ore-processing-plant-focused-on-tailings/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=rq](https://www-mining-com.translate.goog/web/vale-to-build-new-iron-ore-processing-plant-focused-on-tailings/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq)

<sup>3</sup> In the heart of Xinjiang, office workers are living the dream of every gamer — remotely controlling machinery 600 meters underground. <https://x.com/FrRonconi/status/1856038282045301116>

## Висновки

Обґрунтовано, що поширене уявлення про визначальний вплив глибини гірничих робіт на економічні результати діяльності добувального підприємства потребує уточнення. Глибина розробки безпосередньо ускладнює технологію видобутку та зумовлює зростання витрат на вентиляцію, водовідлив, підйом і кондиціювання повітря, однак міжгалузеве порівняння вугільного та залізорудного видобутку засвідчило, що цей зв'язок є неоднозначним. Зокрема, підприємство з видобутку залізної руди ПрАТ «Суша Балка», яке працює на значно більшій глибині, упродовж тривалого періоду мало нижчу собівартість товарної продукції, ніж вугільна шахта «Південнодонбаська № 1».

Статистичний аналіз собівартості експортної продукції підтвердив істотні міжгалузеві відмінності у формуванні витрат. Для вугільної продукції основне навантаження припадає на її вироблення, тоді як для залізної руди значну частину загальної собівартості формує транспортування. Отже, сама величина собівартості не може розглядатися у відриві від технології виробництва, структури матеріалопотоків і способу подолання гірничо-геологічних обмежень.

Із застосуванням методу екологічного рюказа виявлено істотні відмінності в структурі прихованих матеріальних потоків вугільного та залізорудного виробництва. Особливого значення набуває абіотична складова, яка для ПрАТ «Суша Балка» мала статистично значущий зв'язок із собівартістю виробництва. Це дає підстави розглядати матеріало- та енерго-

ємність технології як домінуючий чинник впливу на економічний стан підприємства.

Доведено, що технологічне ускладнення добувального виробництва не є безумовним засобом підвищення його економічної ефективності. Зростання продуктивності, енергоозброєності та технологічних можливостей машин може супроводжуватися збільшенням прихованих матеріальних потоків, енергетичних витрат і капіталомісткості. Історія розвитку високотехнологічного вугільного виробництва Німеччини та України демонструє, що навіть значне технологічне посилення виробничих потужностей техніки не гарантує економічної життєздатності підприємства.

Таким чином, економічний стан добувального підприємства визначається не окремим гірничим параметром, зокрема глибиною розробки, а взаємодією гірничо-геологічних, гірничотехнічних умов і відповідної їм технології видобутку. Саме технологія здатна спричиняти нові економічні обмеження, пов'язані зі зростанням складності, матеріало- та енергоємності виробництва. Тому технологічний розвиток добувної галузі доцільно оцінювати не лише за показниками продуктивності та рівнем механізації, автоматизації чи цифровізації, але і за його впливом на структуру витрат і приховані матеріальні потоки.

Одержані результати свідчать про сумнівність доцільності спрощеного ототожнення технологічного прогресу з економічним прогресом добувального підприємства, а також про необхідність подальших досліджень взаємозв'язку між технологічною складністю, матеріало- та енергоємністю виробництва й економічною життєздатністю підприємств добувної галузі.

## ЛІТЕРАТУРА

- Амоша А. И., Залознова Ю. С., Череватский Д. Ю. Угольная промышленность и гибридная экономика : монография. Донецк ; Киев : ИЭП НАН Украины, 2017. 184 с.
- Амоша О. І., Череватський Д. Ю., Баш В. О. Щодо резильєнтності суб'єктів ринку на прикладі підприємств добувної галузі. *Економіка промисловості*. 2023. № 4 (104). С. 5—21. <https://doi.org/10.15407/econindustry2023.04.005>
- Брюховецька Н. Ю., Черних О. В. Індустрія 4.0 та цифровізація економіки: можливості використання зарубіжного досвіду на промислових підприємствах України. *Економіка промисловості*. 2020. № 2 (90). С. 116—132. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.02.116>
- Лаптев А. Г. Перспективы развития угольной промышленности на базе технического перевооружения отрасли. *Уголь Украины*. 2002. № 2. С. 10—12.
- Сосновська О. О., Вакофян В. Г. Індустрія 4.0: сутність і тенденції розвитку. *Бізнес Інформ*. 2022. № 1. С. 137—144. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-1-137-144>
- Стариченко Л. Л. Актуальні питання державної політики щодо вугільної промисловості. *Уголь Украины*. 2012. № 10. С. 3—7.
- Тённес Б. Шахта 2012 — высокая технология для будущего. *Глюкауф*. 2004. № 1. С. 43—50.
- Трауд В. Инновационные процессы в немецкой каменноугольной промышленности. *Глюкауф*. 2006. № 1. С. 33—36.

- Череватський Д. Ю. Інновації і тенденції норми прибутку к понижению. *Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки в контексті інтеграції України в Європейський науково-інноваційний простір* : матеріали XXIV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 19—21 черв. 2019 р.). Одеса : Фенікс, 2019. С. 234—238.
- Череватський Д. Ю., Бойко О. В. Регресійна модель екологічного рюкзака українського вугілля. *Вісник економічної науки України*. 2022. № 2 (43). С. 41—45. [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.2\(43\).41-45](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.2(43).41-45)
- Череватський Д. Ю., Бойко О. В., Баш В. О. Вплив складових екологічного рюкзака на собівартість видобутку залізної руди. *MININGMETALTECH 2024 — The mining and metals sector: integration of business, technology and education* : Conference proceedings. Riga : Baltija Publishing, 2024. Vol. 2. P. 368. URL: <https://www.researchgate.net/publication/391345440>
- Череватський Д. Ю., Чейлях Д. Д., Баш В. О. Добувна смарт-промисловість: між технологіями та економікою. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.) / ред. Н. Г. Метеленко. Запоріжжя : ВД «Гельветика», 2025. С. 944—947. URL: <https://www.researchgate.net/publication/405010650>
- An H., Mu X. Contributions to rock fracture induced by high ground stress in deep mining: a review. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2025. Vol. 58, No. 1. P. 463—511. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-04113-z>
- Bringezu S., Yuichi M. Material flow analysis. Green accounting. London : Routledge, 2018. <https://doi.org/10.4324/9781315197715-6>
- Brunner P. H., Rechberger H. Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers. Boca Raton : CRC Press, 2016. <https://doi.org/10.1201/9781315313450>
- Camm T. W., Stebbins S. A. Simplified cost models for underground mine evaluation: A handbook for quick prefeasibility cost estimates. Rev. ed. *Mining Engineering*. 2023. Vol. 16. URL: [https://digitalcommons.mtech.edu/mine\\_engr/16](https://digitalcommons.mtech.edu/mine_engr/16)
- Cherevatskyi D., Soldak M., Lypnyskyi D. Profit-seeking vs Innovation. *Zeszyty Naukowe WSB w Poznaniu*. 2023. Vol. 101, No. 2. P. 63—71. <https://doi.org/10.58683/dnswsb.606>
- Foster J. B., Clark B., York R. Capitalism and the curse of energy efficiency. *Monthly Review*. 2010. Vol. 62, No. 6. P. 1—12. [https://doi.org/10.14452/MR-062-06-2010-10\\_1](https://doi.org/10.14452/MR-062-06-2010-10_1)
- Fritz M. M., McQuilken J., Collins N., Weldegiorgis F. Global trends in artisanal and small-scale mining (ASM): A review of key numbers and issues. *HAL Working Papers*. 2018. No. hal-02547257. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16756.45444>
- Gordon R. Does the «New Economy» measure up to the Great Inventions of the Past? *Journal of Economic Perspectives*. 2000. Vol. 14, No. 4. P. 49—74. <https://doi.org/10.1257/jep.14.4.49>
- Gordon R. What caused the decline in US business cycle volatility? *NBER Working Paper*. 2005. No. 11777. <https://doi.org/10.3386/w11777>
- Halim A., Kerai M. Ventilation requirement for «Electric» underground hard rock mines — A conceptual study. *Proceedings of The Australian Mine Ventilation Conference 2013* (Adelaide, South Australia) / ed. D. Chalmers. Adelaide, 2013. P. 215—220.
- Hardcastle S. G., Kocsis C. K. Mining at Depth. The ventilation challenge. *CIM Bulletin*. 2004. Vol. 97, No. 1080. P. 51—57. URL: <https://www.researchgate.net/publication/295574832>
- Jakobs A. How long can mining operations still afford not to automate? — An assessment. *Mining Report*. 2021. Vol. 157, No. 4. URL: <https://mining-report.de/english/gluckauf-4-2021/>
- Jevons W. S. The coal question. *The Economics of Population*. London : Routledge, 2018. P. 193—204. <https://doi.org/10.4324/9781351291521-27>
- Kaczmarek J., Kolegowiec K., Szymła W. Restructuring of the coal mining industry and the challenges of energy transition in Poland (1990—2020). *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 10. Art. 3518. <https://doi.org/10.3390/en15103518>
- Kocsis C. K., Hardcastle S. G. Ventilation system operating cost comparison between a conventional and an automated underground metal mine. *ResearchGate*. 2003. URL: <https://www.researchgate.net/publication/298684909>
- Krasnyk V., Cherevatskyi D., Smirnov R., Bash V., Bojko O., Onachenko K. Iron ore extract by the mine method: regression model of an ecological backpack. *ScienceRise*. 2024. No. 1. P. 36—42. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003609>
- Laner D., Rechberger H., Astrup T. Systematic evaluation of uncertainty in material flow analysis. *Journal of Industrial Ecology*. 2014. Vol. 18, No. 6. P. 859—870. <https://doi.org/10.1111/jiec.12143>
- Long M., Schafrik S., Kolapo P., Agioutantis Z., Sottile J. Equipment and operations automation in mining: a review. *Machines*. 2024. Vol. 12, No. 10. Art. 713. <https://doi.org/10.3390/machines12100713>
- Mendenhall W. M., Sincich T. L. Statistics for Engineering and the Sciences. Boca Raton : CRC Press, 2016. <https://doi.org/10.1201/b196>
- Noori A. H. The optimisation of mine design requirements for underground load and haul automation applications : Master's thesis / Aalto University. Espoo, 2023. URL: <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/3f810e56-7fd4-4a17-a73e-a6307b5087bb/content>
- Raja Santhi A., Muthuswamy P. Industry 5.0 or Industry 4.0? Introduction to Industry 4.0 and a peek into the prospective Industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2023. Vol. 17, No. 2. P. 947—979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>
- Ranjith P. G., Zhao J., Ju M., De Silva R. V., Rathnaweera T. D., Bandara A. K. Opportunities and challenges in deep mining: a brief review. *Engineering*. 2017. Vol. 3, No. 4. P. 546—551. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.024>

- Rath K. C., Khang A., Roy D. The role of Internet of Things (IoT) technology in Industry 4.0 economy. *Advanced IoT technologies and applications in the industry 4.0 digital economy*. Boca Raton : CRC Press, 2024. P. 1—28. <https://doi.org/10.1201/9781003434269-1>
- Saurat M., Ritthoff M. Calculating MIPS 2.0. *Resources*. 2013. Vol. 2, No. 4. P. 581—607. <https://doi.org/10.3390/resources2040581>
- Schmidt-Bleek F. MIPS and ecological rucksacks in designing the future. *Proceedings Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. IEEE, 2001. P. 1—8. <https://doi.org/10.1109/ECODIM.2001.992306>
- Shakeri J., Ghorbani E., Taheri A. A review of deep mining challenges, hazard mitigation, design approaches, and support methods. *Underground Space*. 2026. Vol. 28. Art. 86. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2025.10.011>
- Shvahr N., Komisarenko T., Chukharev S., Panova S. Annual production enhancement at deep mining. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 123. Art. 01043. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301043>
- Sinchuk I. O., Somochkyn A. B., Budnikov K. V., Somochkyna S. V., Baranovskyi V. D., Danilin O. V. Modeling Tools for Improving Energy Efficiency of Water Drainage Complexes at Iron Ore Underground Mines. *Herald of Advanced Information Technology*. 2022. Vol. 5, No. 1. P. 40—51. <https://doi.org/10.15276/hait.05.2022>
- Skrzypkowski K., Zagórski K., Zagórska A., Sengani F. Access to deposits as a stage of mining works. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 22. Art. 8740. <https://doi.org/10.3390/en15228740>
- Vyshnevskiy O. S. Smart manufacturing: definition and theory of stimulating development based on local protectionism. *Економіка промисловості*. 2023. № 3 (103). С. 5—27. <https://doi.org/10.15407/econindustry2023.03.005>
- Vyshnevskiy O. S., Anufriiev M. Y., Bozhyk M. S., Gulchuk T. O. Artificial intelligence as a core of the new industrial revolution: prospects and limitations. *Економіка промисловості*. 2024. № 3 (107). С. 5—21. <https://doi.org/10.15407/econindustry2024.03.005>

Надійшла до редакції 20.07.2026

Прийнята до друку 11.08.2026

Опублікована 29.09.2026

## REFERENCES

- Amosha, A. I., Zaloznova, Y. S., & Cherevatskyi, D. Y. (2017). *Coal industry and hybrid economy* [Monograph]. IIE of NAS of Ukraine [in Russian].
- Amosha, O. I., Cherevatskyi, D. Y., & Bash, V. O. (2023). Regarding the resilience of market entities on the example of extractive industry enterprises. *Ekon. promisl.*, 4 (104), 5—21. <https://doi.org/10.15407/econindustry2023.04.005> [in Ukrainian].
- Bryukhovetska, N. Y., & Chernykh, O. V. (2020). Industry 4.0 and economy digitalization: Possibilities of using foreign experience at industrial enterprises of Ukraine. *Ekon. promisl.*, 2(90), 116—132. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.02.116> [in Ukrainian].
- Laptev, A. G. (2002). Prospects for the development of the coal industry based on technical re-equipment of the sector. *Ugol Ukrainy*, 2, 10—12 [in Russian].
- Sosnovska, O. O., & Vakofian, V. H. (2022). Industry 4.0: Essence and development trends. *Biznes Inform*, 1, 137—144. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-1-137-144> [in Ukrainian].
- Starychenko, L. L. (2012). Topically issues of state policy regarding the coal industry. *Ugol Ukrainy*, 10, 3—7 [in Ukrainian].
- Tönnies, B. (2004). Mine 2012 — High technology for the future. *Glückauf*, 1, 43—50 [in Russian].
- Traud, V. (2006). Innovation processes in the German hard coal industry. *Glückauf*, 1, 33—36 [in Russian].
- Cherevatskyi, D. Y. (2019). Innovations and tendencies of the rate of profit to fall. In *Problems and prospects of innovative development of the economy in the context of Ukraine's integration into the European scientific and innovation space: Proceedings of the 24th International Scientific and Practical Conference* (Odesa, June 19—21, 2019) (pp. 234—238). Odesa: Feniks [in Russian].
- Cherevatskyi, D. Y., & Bojko, O. V. (2022). Regression model of the ecological backpack of Ukrainian coal. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 2(43), 41—45. [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].
- Cherevatskyi, D. Y., Bojko, O. V., & Bash, V. O. (2024). Impact of ecological backpack components on the cost of iron ore extraction. In *MININGMETALTECH 2024 — The mining and metals sector: Integration of business, technology and education: Conference proceedings* (Vol. 2, p. 368). Riga: Baltija Publishing [in Ukrainian].
- Cherevatskyi, D. Y., Cheiliakh, D. D., & Bash, V. O. (2025). Extractive smart industry: Between technologies and economics. In N. H. Metelenko (Ed.), *Engineering innovations and development of the national economy: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference of the Y. M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute* (Zaporizhzhia, May 15—16, 2025) (pp. 944—947). Zaporizhzhia: VD «Helvetica» [in Ukrainian].
- An, H., & Mu, X. (2025). Contributions to rock fracture induced by high ground stress in deep mining: A review. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 58(1), 463—511. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-04113-z>
- Bringezu, S., & Yuichi, M. (2018). Material flow analysis. In *Green accounting*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315197715-6>
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers*. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315313450>
- Camm, T. W., & Stebbins, S. A. (2023). Simplified cost models for underground mine evaluation: A handbook for quick prefeasibility cost estimates (Rev. ed.). *Mining Engineering*, 16. [https://digitalcommons.mtech.edu/mine\\_engr/16](https://digitalcommons.mtech.edu/mine_engr/16)

- Cherevatskyi, D., Soldak, M., & Lypnyskyi, D. (2023). Profit-seeking vs innovation. *Zeszyty Naukowe WSB w Poznaniu*, 101(2), 63—71. <https://doi.org/10.58683/dnswsb.606>
- Foster, J. B., Clark, B., & York, R. (2010). Capitalism and the curse of energy efficiency. *Monthly Review*, 62(6), 1—12. [https://doi.org/10.14452/MR-062-06-2010-10\\_1](https://doi.org/10.14452/MR-062-06-2010-10_1)
- Fritz, M. M., McQuilken, J., Collins, N., & Weldegiorgis, F. (2018). *Global trends in artisanal and small-scale mining (ASM): A review of key numbers and issues* (HAL Working Paper No. hal-02547257). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16756.45444>
- Gordon, R. (2000). Does the «New Economy» measure up to the Great Inventions of the Past? *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 49—74. <https://doi.org/10.1257/jep.14.4.49>
- Gordon, R. (2005). *What caused the decline in US business cycle volatility?* (NBER Working Paper No. 11777). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w11777>
- Halim, A., & Kerai, M. (2013). Ventilation requirement for «Electric» underground hard rock mines — A conceptual study. In D. Chalmers (Ed.), *Proceedings of The Australian Mine Ventilation Conference 2013* (Adelaide, South Australia) (pp. 215—220).
- Hardcastle, S. G., & Kocsis, C. K. (2004). Mining at depth: The ventilation challenge. *CIM Bulletin*, 97(1080), 51—57.
- Jakobs, A. (2021). How long can mining operations still afford not to automate? — An assessment. *Mining Report*, 157(4). <https://mining-report.de/english/gluckauf-4-2021/>
- Jevons, W. S. (2018). The coal question. In *The economics of population* (pp. 193—204). London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351291521-27>
- Kaczmarek, J., Kolegowicz, K., & Szymła, W. (2022). Restructuring of the coal mining industry and the challenges of energy transition in Poland (1990–2020). *Energies*, 15(10), 3518. <https://doi.org/10.3390/en15103518>
- Kocsis, C. K., & Hardcastle, S. G. (2003). *Ventilation system operating cost comparison between a conventional and an automated underground metal mine*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/298684909>
- Krasnyk, V., Cherevatskyi, D., Smirnov, R., Bash, V., Bojko, O., & Onachenko, K. (2024). Iron ore extract by the mine method: Regression model of an ecological backpack. *ScienceRise*, 1, 36—42. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003609>
- Laner, D., Rechberger, H., & Astrup, T. (2014). Systematic evaluation of uncertainty in material flow analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 859—870. <https://doi.org/10.1111/jiec.12143>
- Long, M., Schafrik, S., Kolapo, P., Agioutantis, Z., & Sottile, J. (2024). Equipment and operations automation in mining: A review. *Machines*, 12(10), 713. <https://doi.org/10.3390/machines12100713>
- Mendenhall, W. M., & Sincich, T. L. (2016). *Statistics for engineering and the sciences*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b196>
- Noori, A. H. (2023). *The optimisation of mine design requirements for underground load and haul automation applications* [Master's thesis, Aalto University]. Aalto University Digital Repository. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/3f810e56-7fd4-4a17-a73e-a6307b5087bb/content>
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or Industry 4.0? Introduction to Industry 4.0 and a peek into the prospective Industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(2), 947—979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>
- Ranjith, P. G., Zhao, J., Ju, M., De Silva, R. V., Rathnaweera, T. D., & Bandara, A. K. (2017). Opportunities and challenges in deep mining: A brief review. *Engineering*, 3(4), 546—551. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.024>
- Rath, K. C., Khang, A., & Roy, D. (2024). The role of Internet of Things (IoT) technology in Industry 4.0 economy. In *Advanced IoT technologies and applications in the industry 4.0 digital economy* (pp. 1—28). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003434269-1>
- Saurat, M., & Ritthoff, M. (2013). Calculating MIPS 2.0. *Resources*, 2(4), 581—607. <https://doi.org/10.3390/resources2040581>
- Schmidt-Bleek, F. (2001). MIPS and ecological rucksacks in designing the future. In *Proceedings Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing* (pp. 1—8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ECODIM.2001.992306>
- Shakeri, J., Ghorbani, E., & Taheri, A. (2026). A review of deep mining challenges, hazard mitigation, design approaches, and support methods. *Underground Space*, 28, 86. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2025.10.011>
- Shvahr, N., Komisarenko, T., Chukharev, S., & Panova, S. (2019). Annual production enhancement at deep mining. *E3S Web of Conferences*, 123, 01043. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301043>
- Sinchuk, I. O., Somochkyn, A. B., Budnikov, K. V., Somochkyna, S. V., Baranovskyi, V. D., & Danilin, O. V. (2022). Modeling tools for improving energy efficiency of water drainage complexes at iron ore underground mines. *Herald of Advanced Information Technology*, 5(1), 40—51. <https://doi.org/10.15276/hait.05.2022>
- Skrzypkowski, K., Zagórski, K., Zagórska, A., & Sengani, F. (2022). Access to deposits as a stage of mining works. *Energies*, 15(22), 8740. <https://doi.org/10.3390/en15228740>
- Vyshnevskyi, O. S. (2023). Smart manufacturing: Definition and theory of stimulating development based on local protectionism. *Ekon. promisl.*, 3(103), 5—27. <https://doi.org/10.15407/econindustry2023.03.005> [in Ukrainian].
- Vyshnevskyi, O. S., Anufriev, M. Y., Bozhyk, M. S., & Gulchuk, T. O. (2024). Artificial intelligence as a core of the new industrial revolution: Prospects and limitations. *Ekon. promisl.*, 3(107), 5—21. <https://doi.org/10.15407/econindustry2024.03.005> [in Ukrainian].

Received: 20.07.2026

Accepted: 11.08.2026

Published: 29.09.2026

Vitaliy O. Bash, CEO (Chief Executive Officer)

E-mail: Bash.v@dch.com.ua; <https://orcid.org/0009-0008-1173-2174>

PJSC «SUHA BALKА»

5 Konstytutsiina Street, Kryvyi Rih, 50029, Ukraine

PRODUCTION COST OF EXTRACTION ENTERPRISE  
PRODUCTS: WHEN TECHNOLOGY IS MORE  
INFLUENTIAL THAN MINING DEPTH

The article examines the impact of mining technology on production costs and the economic condition of mining enterprises. The necessity of clarifying the widespread perception in mining practice regarding the decisive influence of mining depth on the economics of an extraction enterprise is substantiated. Using the examples of the “Pivdennodonbaska No. 1” coal mine and PrJSC “Sukha Balka”, which engages in underground iron ore mining, the possibility of a systemic deviation from the expected dependence is demonstrated: a mining enterprise operating at a significantly greater depth can achieve lower production costs. To identify the causes of this phenomenon, a statistical analysis of production cost components and the ecological rucksack method (MIPS), which allows for the accounting of hidden material flows of production, were utilized. Regression models of the ecological rucksack mass for coal and iron ore production were constructed, and the connection between its components and production costs was investigated. Significant inter-industry differences in the structure of material flows and cost formation were established; for iron ore production, a significant correlation between production costs and the abiotic component of the ecological rucksack was identified. The proposition that mining depth in itself does not determine the economic performance of an extraction enterprise—the technological foundation being decisive—is substantiated. The increasing complexity of equipment, rising power-to-labor ratio, and material intensity can create new economic constraints. It is shown that increasing productivity, mechanization, automation, and digitalization of production are not unconditional guarantees of an enterprise’s economic viability. It is proposed to evaluate the technological development of mining enterprises not only by the level of productivity and technological equipment but also by changes in the structure of costs and hidden material flows.

**Keywords:** mining industry, mining depth, production cost, mining technology, ecological rucksack, material flows, smart manufacturing.