

## ЛЮДИНОЗАМІННІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК НАПРЯМОК ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРАЦІ В ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ

**Актуальність дослідження.** Тривала широкомасштабна російсько-українська війна спричинила масштабну кризу дефіциту людських ресурсів в країні, що негативно позначається на промисловому секторі України та позначатиметься в перспективі повосенного відновлення економіки. За оцінками Інституту економічних досліджень та політичних консультацій, нестача робочої сили є одним з вагомих чинників уповільнення темпів економічного зростання: у 2025 році реальний ВВП України зріс на лише на 1,8%<sup>1</sup>, тоді як у 2024 році – на 2,9%, а у 2023 році – ВВП зріс на 5,5%<sup>2</sup>. За дослідженням порталу [roboota.ua](http://roboota.ua)<sup>3</sup>, у 2025 році 81% роботодавців відчували дефіцит кваліфікованих кадрів, це негативно позначилося на напруженості в командах – про це заявили 46% опитаних роботодавців. Нестача робочої сили призвела до стрімкого зростання зарплат – у 2024 році номінальні зарплати зросли на понад 23%, у листопаді 2025 році середня номінальна зарплата штатного працівника порівняно з листопадом 2024 року зросла на 22,7%<sup>4</sup>. Це підвищує витрати бізнесу, знижуючи його конкурентоспроможність та ефективність роботи підприємств.

Перспективи продовження російсько-української війни передбачають інтенсифікацію вививання людського капіталу з країни та робочої сили з ринку праці і змушують підприємства вдаватися до тактичних та стратегічних заходів забезпечення персоналом. По-перше, роботодавці підвищували зарплати працівникам для їх утримання: за опитуванням медіаплатформи [budni](http://budni.com) від порталу роботи [roboota.ua](http://roboota.ua), 91% ком-

паній-респондентів підвищили зарплати співробітникам, за даними порталу роботи [work.ua](http://work.ua) за 2025 рік зарплати в пропонувані вакансіях зросли на 22%<sup>5</sup>.

Роботодавці також знизили вимоги щодо досвіду та віку кандидатів: частка вакансій без вимог до досвіду робіт у квітні 2025 року зросла за рік на 12%, досягнувши у квітні 2025 року 44%<sup>6</sup>.

Більше програм залучення персоналу стали орієнтованими на жінок (навіть, за професіями та галузями, традиційно зайнятими представниками чоловічої статі), з попереднім професійним навчанням та перекваліфікацією. За даними дослідження «Барометр ринку праці» від GRC, яке охопило близько 2700 роботодавців більш ніж з 15 галузей, 57% роботодавців повідомили, що вже наймають кандидатів жіночої статі на історично «чоловічі» професії, ще 9% – планують наймати<sup>7</sup>. У відповідь на це Кабінет Міністрів України за пропозицією Міністерства економіки та Державного центру зайнятості унормували 15 листопада 2024 р. реалізацію експериментального проекту щодо організації професійного навчання жінок для працевлаштування у сферах, де вони були традиційно недостатньо представлені, відповідно до якого за заявками роботодавців Державною службою зайнятості організовується професійне навчання жінок за кошти Фонду загальнообов'язкового державного соціального страхування на випадок безробіття за найбільш затребуваними робітничими професіями, визначеними в Постанові № 1302 переліком, який включає наприклад, слюсарів, верстатників, фрезерувальників, електромонтерів, машиністів

<sup>1</sup> 2025 – ще один рік стійкості, викликів та непевності. Погляд команди Місячного економічного моніторингу України. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій. URL: [http://www.ier.com.ua/ua/publications/regular\\_products/economic\\_results\\_of\\_year?pid=7848](http://www.ier.com.ua/ua/publications/regular_products/economic_results_of_year?pid=7848) (дата звернення: 16.01.2026)

<sup>2</sup> Темпи зростання реального ВВП у 2024 році: Коментар НБУ щодо реального ВВП у 2024 році. Національний банк України. URL: <https://bank.gov.ua/ua/news/all/komentar-natsionalnogo-banku-schodo-zmini-realnogo-vvp-u-2024-rotsi>

<sup>3</sup> Яким був 2025 рік для кандидатів та роботодавців? Коротко про найголовніше від команди [roboota.ua](http://roboota.ua). Медіаплатформа [budni](http://budni.com). URL: <https://budni.roboota.ua/news/roboota-2025> (дата звернення: 16.01.2026)

<sup>4</sup> Набір даних: Обстеження підприємств із питань статистики праці. Банк даних Держстату. URL: <https://stat.gov.ua/uk/explorer> (дата звернення: 16.01.2026)

<sup>5</sup> Статистика зарплат в Україні. [Work.ua](http://work.ua). URL: <https://www.work.ua/stat/> (дата звернення: 16.01.2026)

<sup>6</sup> Кузенкова Є. Майже половина вакансій — для людей без досвіду. [Work.ua](http://work.ua). 2025. 7 травня. URL: <https://www.work.ua/articles/analytics/3634/> (дата звернення: 16.01.2026)

<sup>7</sup> Жінки на «чоловічих» професіях: що змінилось в 2025. [Finance.ua](http://finance.ua) за даними GRC.ua. URL: <https://news.finance.ua/ua/zhinky-na-cholovichyh-profesiyah-shho-zminylos-v-2025> (дата звернення: 16.01.2026)



кранів, операторів верстатів з програмних керуванням, водіїв, трактористів тощо.

Крім цього, одним з напрямів покриття дефіциту людських ресурсів є залучення на вакансії ветеранів війни. Зокрема, у 2023 році кількість вакансій для ветеранів збільшилася на 133%, а тільки за лютий 2025 року кількість вакансій з позначкою «Перевага ветеранам» збільшилась на 18%, досягнувши частки 10% у загальній кількості вакансій<sup>1</sup>.

Однак, насправді, такі заходи мають досить обмежений потенціал розширення робочої сили. Депопуляція населення України розпочалась у 1994 році внаслідок глибокої економічної кризи та зміни матриці установок нових поколінь, спричинивши втрату близько 6 млн осіб з 1990 по 2014 рр. У 2014 році країна втратила ще близько 2,5–3 млн осіб населення в окупованому Криму та непідконтрольних територіях Донецької та Луганської областей. Втрати населення внаслідок повномасштабної війни через біженство за кордон (за оцінками близько 6,8 млн осіб), окупацію та загибель цивільного населення та військових важко оцінити, але за розрахунками вчених Інституту демографії та соціальних досліджень імені М.В. Птухи чисельність робочої сили країни скоротилася з 17,2 млн (у 2021 році) до 13–14 млн осіб (у 2024 році) і буде мати тенденцію до подальшого скорочення, а оцінений потенціал зростання пропозиції робочої сили – не більше 700 тис осіб [1].

З урахуванням відсутності перспектив близького завершення війни, підприємства, особливо, великі промислові, не зможуть ефективно покривати потребу в людських ресурсах без задіяння людинозамінних технологій. Актуальним постає завдання інтенсивного економічного зростання на основі впровадження людинозамінних технологій.

Одночасно умови розвитку гірничо-добувної та металургійної галузі погіршуються через виснаження родовищ та ускладнення геології, екологічний та кліматичний тиск, геополітичні проблеми доступу до ресурсів, що актуалізує потребу у впровадженні людинозамінних технологій в гірничо-металургійному комплексі. Так, впровадження європейського транскордонного вуглецевого податку СВМ за оцінками експертів Європейської бізнес-асоціації, втрати українського експорту через СВМ у 2030 році можуть сягнути 1,8 млрд дол. США, а сумарні витрати експорту за 2026–2030 роки можуть становити 4,7 млрд дол. США<sup>2</sup>. Усе це обумовлює дослідницьку задачу пошуку та обґрунтування впровадження людинозамінних технологій в трудомістких галузях української економіки, до яких належить гірничо-металургійна галузь.

**Метою дослідження** є дослідження характеру впливу впровадження людинозамінних технологій

на підвищення продуктивності праці в гірничо-металургійному комплексі шляхом критичного аналізу наявних теорій, моделей та емпіричних досліджень технологічної трансформації підприємств галузі та їх взаємодії з економічними й організаційними чинниками.

**Огляд літератури.** Поняття людинозамінних або трудозамінних технологій наразі не визначено у науковій літературі, існують описи окремих технологій, спрямованих на заміну або доповнення людської праці, такі як механізація, автоматизація, роботизація, цифровізація, AI-аугментація.

У таблиці 1 наведемо атрибутивні ознаки трудозамінних технологій.

**Таблиця 1. Класифікація людинозамінних (трудозамінних) технологій**

Назва технології	Визначення
Механізація	використання механізмів та інших технічних пристроїв у трудових та виробничих процесах з метою підвищення ефективності, безпеки та легкості людської праці під керівництвом людини.
Автоматизація	використання відповідних пристроїв, які забезпечують виконання заданих операцій та процесів без безпосередньої участі людини впродовж всього виробничого (робочого) циклу [2, С. 18] Види автоматизації: <i>часткова</i> – передбачає автоматизацію основних виробничих процесів, <i>комплексна</i> – передбачає автоматизацію не лише процесу виробництва, але й процесів керування й обслуговування; <i>повна</i> – передбачає автоматизацію всіх основних і допоміжних процесів
Роботизація	різновид автоматизації, за якого робота людини повністю замінена роботою автоматизованих систем <sup>3</sup>
Цифровізація	процес використання цифрових технологій і переведеної в цифрову форму інформації з метою впровадження змін в економічну діяльність (бізнес-модель) та взаємодію людей [3]
AI-аугментація (III-підсилення)	модель людино-орієнтованої співпраці людей зі штучним інтелектом для підсилення когнітивних можливостей людини – навчання, дослідження, аналітична підтримка прийняття рішень та отримання нового досвіду

*Джерело:* розроблено автором на основі [2-3]

Декілька великих досліджень у 2020–2024 рр. демонструють різний рівень впливу роботизації на загальну та факторну продуктивність праці. Зокрема, Асемоглу та ін. на вибірці з 55390 французьких виробничих підприємств протягом 2010–2015 років, виявили, що підприємства, які використовують роботів у виробництві, збільшують свою загальну факторну продуктивність на 2,4% порівняно з тими, які

<sup>1</sup> Трудові ресурси для повоєнного відновлення України: стан, проблеми, шляхи розв'язання : Аналітична доповідь Центру Разумкова. 2024. URL: <https://razumkov.org.ua/images/2024/10/16/2024-Pyshchulina-TRUDJVI-RESURS-UKR-SAIT.pdf>

<sup>2</sup> Зінченко С. СВМ – транскордонний вуглецевий податок ЄС. Що це і як вплине на бізнес? : *Європейська бізнес-асоціація*. URL: <https://eba.com.ua/cbam-transkordonyj-vugletsevyj-podatok-yes-shho-tse-i-yak-vplyne-na-biznes/> (дата звернення: 18.01.2026)

<sup>3</sup> Robotização : Стопінка Wikipedia (португальською мовою). URL: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Robotizaçao>

цього не роблять [4]. Дослідження на малих та середніх промислових підприємствах Іспанії показало позитивний вплив роботизації на продуктивність праці у 5% [5].

Проведене Кроманн та ін. емпіричне дослідження по країнах та галузях довело, що у короткостроковій перспективі підвищення рівня роботизації виробництва має значний позитивний вплив (до 10-15%) на продуктивність праці як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі. Більше застосування промислових роботів має негативний вплив на зайнятість у короткостроковій перспективі, але позитивний – у довгостроковій перспективі. Так, за розрахунками математичної моделі, підвищення рівня роботизації у металургії, наприклад, у Британії до рівня еталонного, бенчмаркінгового (у Данії) може спричинити скорочення зайнятості в галузі на 4,5% у короткостроковій перспективі, але зростання продуктивності праці на 11,7% та зростання зайнятості у довгостроковій перспективі на 3,9% [6].

Емпіричне дослідження Чжао та ін., проведене на даних з 17 різних галузей промисловості Китаю з

2006 по 2021 рік, демонструє позитивний вплив роботизації на продуктивність праці в галузях промисловості, крім галузі утилізації відходів. Як видно з результатів цього дослідження (рис. 1), кожне збільшення щільності застосування промислових роботів (кількість працюючих роботів на 10 000 зайнятих) на 1% збільшує продуктивність праці у базовій металургії на 0,094%, у виробництві металопродукції – на 0,083%, у видобувній галузі – на 0,022%. В середньому за всіма галузями промисловості зростання на 10% щільності роботів спричиняє зростання продуктивності праці на 0,18%, у низкороботизованих галузях ефект роботизації на продуктивність праці є вищим, а у високороботизованих – нижчим, що підтверджує про наявність маржинального ефекту роботизації на продуктивність праці. Також автори виявили важливу роль людського капіталу у підвищенні продуктивності праці – спочатку роботизація сприяє зростанню людського капіталу (частки працівників з вищою освітою, частки зайнятих в сфері «дослідження та розробки»), а вже зростання людський капітал спричиняє зростання суспільної продуктивності праці [7].



Рис. 1. Коефіцієнти регресії, що відображають вплив застосування промислових роботів на продуктивність праці в галузях промисловості

Джерело: [7]

У дослідженні Гретц та Майклс показано, що зростання щільності роботів у різних країнах у період з 1993 по 2007 рр. сприяло щорічному зростанню ВВП на 0,36 процентні пункти, що становить понад 10% загального зростання ВВП та понад 16% зростання продуктивності праці [8]. Однак ці дані вже не охоплюють процеси інтеграції автоматизації промисловості з ІІТ-технологіями, які відбулися після 2007 року. Крім цього, автори довели, що сама по собі автоматизація не спричиняє безпосереднього підвищення продуктивності суспільної праці (ВВП на душу населення), а через зростання людського капіталу та переміщення його до високопродуктивних сфер з високою часткою доданої вартості.

Перевіримо ці результати на свіжих даних. Для проведення аналізу взято набір даних:

- щільність роботизації – кількість роботів на 10 000 працівників, представлені у звітах IFR (International Federation of Robotics)<sup>1</sup> за 16 країнами у 2000, 2005, 2018, 2019-2023 рр.;

- показники продуктивності праці – значення реального ВВП (у співставних цінах) на відпрацьовану годину часу в дол. США відповідних країн, представлені в базі даних Міжнародної організації праці (ІЛО)<sup>2</sup>;

- сукупна факторна продуктивність (приріст ВВП, не пов'язаний зі зростанням капіталу чи людського ресурсу, а технологічні інновації, автоматизація та цифровізація, якість менеджменту, органі-

<sup>1</sup> Global Robot Density in Factories Doubled in Seven Years New World Robotics Data by International Federation of Robotics reveal. *International Federation of Robotics*. URL: [https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-density-in-factories-doubled-in-seven-years?utm\\_source=chatgpt.com](https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-density-in-factories-doubled-in-seven-years?utm_source=chatgpt.com) (Available at 21.01.2026)

<sup>2</sup> Dataset "Output per hour worked (GDP constant 2021 international \$ at PPP) – ILO modelled estimates, Nov. 2025 – Annual. Database: ILO Modelled Estimates (ILOEST). Id: GDP\_2HRW\_NOC\_NB\_A. Time period: 2005–2027". URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG> (Available at 21.01.2026)

зація виробництва та логістики, інститути та умови ведення бізнесу, людський капітал понад формальну освіту) – дані з Penn World Table (PWT)<sup>1</sup>.

Для визначення впливу роботизації на сукупну продуктивність праці побудовано економетричну модель (1)

$$\Delta \ln(LP_{it}^H) = \beta_1 \Delta \ln(TFP_{it}) + \beta_2 \Delta \ln(hc_{it}) + \gamma \Delta \ln(R_{it}) + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

де  $LP^H$  – продуктивність праці за годину (реальний ВВП (у співставних цінах) на відпрацьовану годину часу в дол. США),

$TFP$  і  $hc$  – сукупна факторна продуктивність з PWT 11.0,

$R$  – щільність роботів (кількість промислових роботів на 10 000 працівників),

$\mu_i$  – фіксований ефект країн (географічних та політичних особливостей)

$\tau_t$  – фіксований ефект років (пандемія Covid-19, світові фінансові кризи)

$\gamma$  – еластичність змін продуктивності праці  $\Delta \ln(LP)$  до зміни рівня щільності промислових  $\Delta \ln(R)$ .

Результати обчислень за моделлю (1) представлені в табл. 2.

**Таблиця 2. Вплив щільності роботів (Robot Density) на зростання продуктивності праці (Labour Productivity growth)**

Залежна змінна (Y): Темп зростання продуктивності праці $\Delta \ln(LP^H)$	(Baseline FE)
Незалежна змінна (X1): Щільність роботів – $\Delta \ln(\text{Robot density})$	0.021, p<0.1 (0.011)
Незалежна змінна (X2): Сукупна факторна продуктивність $\Delta \ln(TFP)$	0.936, p <0.01 (0.081)
Незалежна змінна (X2): Людський капітал $\Delta \ln(\text{Human capital})$	0.042 (0.259)
Залишки: Фіксований ефект країн ( $\mu_i$ )	Враховано
Залишки: Фіксований ефект років ( $\tau_t$ )	Враховано
Кількість спостережень	270
Коефіцієнт детермінації моделі R <sup>2</sup>	0.786

*Примітка:* стандартні помилки, згруповані за країнами, наведено в дужках

У таблиці 2 наведено базові оцінки фіксованих ефектів взаємозв'язку між роботизацією та зростанням продуктивності праці. Коефіцієнт щільності роботів є позитивним та статистично значущим для всіх специфікацій. Коефіцієнт еластичності означає, що збільшення щільності роботів на 10 відсотків пов'язане зі збільшенням зростання продуктивності праці на 0,21 проц. пункта. Важливо, що цей ефект залишається стійким після врахування загальної факторної продуктивності (табл. 3), людського капіталу та фіксованих ефектів країни та року, а також після виключення років пандемії COVID-19.

**Таблиця 3. Вплив щільності роботів (автоматизації) на сукупну факторну продуктивність (Total Factor Productivity growth)**

Залежна змінна (Y): Темп зростання сукупної факторної продуктивності $\Delta \ln(TFP)$	(FE)
Незалежна змінна (X1): Зростання щільності роботів – $\Delta \ln(\text{Robot density})$	0.026 (0.026)
Незалежна змінна (X2): Зростання людського капіталу $\Delta \ln(\text{Human capital})$	-0.214 (0.247)
Залишки: Фіксований ефект країн ( $\mu_i$ )	Враховано
Залишки: Фіксований ефект років ( $\tau_t$ )	Враховано
Кількість спостережень	270
Коефіцієнт детермінації моделі R <sup>2</sup>	0.549

У табл. 3 показано, що впровадження промислових роботів збільшує зростання загальної факторної продуктивності, що свідчить про технологічний канал роботизації. У табл. 4 додатково розкладено загальний ефект, показуючи, що приблизно 90 відсотків впливу роботів на продуктивність праці здійснюється через загальну факторну продуктивність, тоді як менший, але не незначний прямий ефект залишається.

**Таблиця 4. Декомпозиція впливу роботизації на продуктивність праці**

Effect	Estimate
Direct effect ( $\gamma'$ )	0.030
Indirect effect ( $\beta \times \theta$ )	0.025
Total effect	0.28
Share via TFP	0.9

Таким чином, сама по собі автоматизація прямо не впливає на рівень добробуту держави, темпи економічного зростання, а впливає на перехід людських ресурсів у високопродуктивні галузі, інтелектуальні роботи, покращуючи вплив людського капіталу та технологій на економічне зростання.

Чжао та ін. наголошують, що роботизація впливає на продуктивність праці не лінійно, і з досягненням максимально можливого рівня людинозаміщення (граничного рівня роботизації) у певній галузі та певному виробництві позитивний вплив на продуктивність праці вичерпується як і будь-якого фактору виробництва (за виробничою функцією) [7]. Для цього варто брати до уваги поточний рівень щільності роботизації, який у різних країнах сильно варіюється: від 60 роботів на 10 тис працівників у Східній Європі [9], 219 – в країнах ЄС, 162 – в середньому у світі до 470 – в Китаї, 770 – в Сингапурі та 1012 – в Південній Кореї. В Україні рівень промислової роботизації знаходився у 2019-2020 роках на рівні слабо розвинених країн (Єгипет, Перу) з рівнем роботизації – до 1 промислового робота на 10 000 працівників<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> PWT 11.0 (Penn World Table version 11.0). Groningen Growth and Development Centre, Faculty of Economics and Business, University of Groningen. URL: <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en>

<sup>2</sup> International Federation of Robotics. (2025). Global robot density in factories doubled in seven years. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-density-in-factories-doubled-in-seven-years>

Низький поточний рівень роботизації виявляє високий рівень потенціалу зростання продуктивності праці у ГМК до досягнення маржинального значення, як було показано вище. Цей ефект виникає за умови структурних змін у людському капіталі, за яких витісняється некваліфікована праця, а працівники перенавчаються, здобуваючи інженерну освіту та підвищуючи кваліфікацію, починають краще та ефективніше взаємодіяти з робототехнікою та шукають шляхи подальшої автоматизації та інтелектуалізації виробничих операцій. Відпо-

відно, каталізатором підвищення продуктивності праці під впливом роботизації є інвестування в людський капітал та його структурні зміни (рис. 2).

Оскільки виявлений вплив роботизації на зростання валового внутрішнього продукту країни не є таким прямим, розглянемо далі виявлений емпірично вплив автоматизації на заміщення людей на підприємствах гірничо-добувної промисловості та в металургії на основі мета-аналізу наукових джерел (табл. 5).



Рис. 2. Вплив роботизації на підвищення продуктивності праці

Таблиця 5. Результати мета-аналізу емпіричних досліджень впливу автоматизації та промислової роботизації на чисельність персоналу підприємств гірничо-добувної та металургійної промисловості

Джерело	Компанія (країна)	Технологія	Характеристики людино-заміщення автоматизації
Marshall et al. (2016) [10]	Codelco (Чилі)	Безпілотні вантажівки на шахтах	Комерційне розгортання безпілотних вантажівок Komatsu було реалізовано на шахті Габі у 2008 році
Skenderas & Politi (2025) [11]	Rio Tinto (Австралія)		У 2018 році безпілотні вантажівки FrontRunner AHS експлуатувалися в середньому на 700 годин більше, ніж звичайні вантажні автомобілі з 15%-економією витрат. Всього заміщено 220 водіїв вантажівок. Водночас, були створені нові ролі, такі як контролери, контролери кар'єрів та фахівці з комунікацій та системної інженерії. Прогнози вугільної промисловості Квінсленда, вказують на те, що впровадження технологій автоматизації потенційно може призвести до заміни $\approx 10\,000$ робочих місць ( $\sim 40\%$ персоналу)
Wang & Xu & Ren (2019) [12]	Китай	Інтегрована роботизована тунельна система різання, доставки, підтримки та проектування поверхонь роботизованих тунелів	Цілі розвитку Китайської вугільної промисловості 3.0 (China Coal Industry 3.0) передбачають скорочення підземного персоналу на 70%. Китайські вуглевидобувні компанії повідомляли, що завдяки технології автоматизації видобутку довгих забоїв протягом 2011–2015 років кількість підземних операторів скоротилася з 30–50 до 5–7 осіб.
Nobahar, P. & Xu, Ch. & Dowd P., Faradonbeh R. Sh. [13]	Vale (Бразилія), Codelco (Чилі)	Цифровий двійник (віртуальна репліка шахт, кар'єрів розріз технологічних процесів)	Зменшення чисельності / зміна ролей, навичок: - інженерів гірничої справи - операторів контролю технологічних параметрів - диспетчерів промислового транспорту
Future of work: The economic implications of technology and digital mining <sup>1</sup>	Rio Tinto (Австралія)	Віддалені операційні центри	Зменшення чисельності диспетчерів на майданчиках, змінних інженерів і майстрів, частину оперативного персоналу шахт
	Rio Tinto (Австралія)	Автономні системи буріння в шахтах	З віддаленого операційного центру один оператор може одночасно керувати до чотирьох автономних бурових установок.

<sup>1</sup> Future of work: The economic implications of technology and digital mining : A Report for the Minerals Council of Australia (February 2019). URL: <https://minerals.org.au/wp-content/uploads/2023/01/The-Future-of-Work-The-economic-implications-of-technology-and-digital-mining-EY-Report-February-2019.pdf>

	Anglo American (Південна Африка)		Скорочення загальної кількості необхідних бурових робіт на 25%, збільшення швидкості буріння на 18% та зростання продуктивності на 23%, що означає потенційне вивільнення людино-годин на бурових роботах.
		Дрони для моніторингу шахт	Використання при перевірках мін потенційно зменшить потребу у саперах. Однак використання дронів в поверхневих шахтах для побудови 3D-моделей та оновлення інтегрованих центрів експлуатації шахт не зменшить потребу в інженерах
The Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF) <sup>1</sup>	Fortescue Metals Group	Автономні вантажні перевезення	Зростання продуктивності на 32% завдяки у 2017 році. Частково це також було пов'язано з економією на заробітній платі операторів польових самоскидів.
Ivory N (2022) [14]	Глобально	Технології Інтернету речей (IoT)	Зменшується потреба в операторах та диспетчерах, зростає потреба у фахівцях з кібербезпеки

Джерело: створено автором на основі [10-14]

Як видно з даних табл. 5, автоматизація та ШІ-трансформація змінює ландшафт ринку праці, спричиняючи структурні зміни, які впливатимуть неоднорідно на кваліфікаційні сегменти людських ресурсів. У результаті автоматизації витісняються робітничі професії та робочі місця з небезпечними та шкідливими умовами праці, у результаті цифровізації та AI-аугментації – робочі місця операторів та контролерів виробничих процесів, у результаті AI-аугментації – змінюється характер праці інженерів у напрямку інтенсифікації когнітивних операцій та підвищення продуктивності їх праці.

Не зважаючи на очевидні ефекти витіснення людської праці при автоматизації та роботизації виробничих операцій та окремих видів робіт, наведені в табл. 5, є повідомлення про негативні зміни характеру робочого навантаження операторів автоматизованих та роботизованих комплексів. Так, Лі та ін. у результаті 6-річних польових спостережень за операторами-контролерами диспетчерських 4 гірничодобувних компаній в Австралії, повідомили, що оператори на двох австралійських переробних заводах часто повинні одночасно виконувати кілька завдань у диспетчерській, що вимагає оперативного вирішення проблем та прийняття рішень. Їм також не вистачає всебічного розуміння критичної динаміки процесів, пов'язаної з переробними заводами та контролерами флотації, а старші оператори не можуть передбачити найефективніші дії контролю для майбутніх сценаріїв [15]. Одночасно погіршився й добробут на робочих місцях: нерідкі були випадки, коли контролер не робив перерву (включаючи перерву в туалет) 6 годин поспіль, а іноді це поширювалося на всю робочу зміну; фіксувались випадки засинання контролерів АСУ ТП на робочих місцях; багато контролерів їли за своїми столами і взагалі не отримували перерви.

Крім того, завдання контролерів в процесі автоматизації та цифровізації шахт настільки змінювалися протягом періоду обстеження, що описи функціональних ролей та обов'язки контролера були незрозумілими, роботодавці не відпускали контро-

лерів диспетчерських на повноцінне навчання, що спричиняло психологічний дискомфорт та професійну фрустрацію, аж до звільнення [16]. Стрес, зниження соціальних взаємодій, низький контроль робочого навантаження та виробничий тиск можуть вплинути на психічне здоров'я оператора [17]. Тому при реалізації проєктів автоматизації не слід розраховувати на грубі підрахунки економії трудовитрат, а паралельно із впровадженням проєктів автоматизації проводити ергономічні дослідження з метою гуманізації праці, аналізом робіт та їх описом, формуванням бази знань за технологіями та роботами операторів, визначенням способів навчання та психологічного комфорту. Безсумнівно, у пріоритеті програм автоматизації мають бути виробничі операції та роботи з високим рівнем промислової небезпеки, високою важкістю праці, шкідливими умовами праці, високою ціною людської помилки.

Високо ймовірно, що з розвитком інструментів ШІ можливим стане перенесення завдань інтеграції функцій спостереження (за допомогою інтеграції IoT-датчиків) за технологічними та логістичними процесами й прийняття оперативних рішень в сфері планування та оперативного управління виробництвом. Це сприятиме підвищенню точності, скороченню простоїв, покращенню промислової безпеки. Розвиток аналітики використання обладнання на основі інструментів ШІ сприятиме передбаченню несправностей на конвеєрах, що дозволить краще планувати профілактичні роботи, підвищуючи надійність та продуктивність виробництва, раціональне використання ремонтного персоналу. Інтеграції технологій ШІ в процеси консолідації та обробки великих даних виникає і внаслідок зменшення часу простоїв обладнання (у міжзмінний період, інші перерви в роботі), стабілізації виробництва, поліпшення маршрутизації виробництва. Так, емпіричні дослідження показали, що безпілотні вантажівки на шахтах Rio Tinto мають на 14% більше доступності, ніж пілотовані [12].

**Висновки.** Проведене дослідження підтверджує ключову роль людинозамінних технологій як

<sup>1</sup> IGF CASE STUDIES: Automation and Water-Saving Technologies : IGF Intergovernmental forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development. *The International Institute for Sustainable Development*. 2019. URL: <https://www.iisd.org/system/files/publications/igf-case-study-water-technologies.pdf>

одного з найефективніших інструментів підвищення продуктивності праці в гірничо-металургійному комплексі України. Умови тривалої війни, демографічне скорочення та дефіцит кваліфікованих кадрів формують критичну потребу підприємств у технологічних рішеннях, здатних компенсувати нестачу робочої сили та забезпечити стабільність виробничих процесів. Аналіз світових і вітчизняних досліджень доводить, що автоматизація та роботизація чинить прямий вплив на зростання продуктивності праці та капіталу, та опосередкований вплив на ВВП через зростання сукупної факторної продуктивності. Емпіричні оцінки демонструють, що збільшення щільності роботів в промисловості корелює зі зростанням продуктивності праці, а найбільший ефект спостерігається у низькороботизованих галузях, до яких належить і гірничо-металургійна галузь України.

Разом із тим, впровадження людинозамінних технологій зумовлює глибокі структурні трансформації ринку праці: зниження попиту на некваліфікованих працівників, зростання потреби у висококваліфікованих інженерах та операторів, появу нових професій, зміну характеру когнітивного навантаження та вимог до кваліфікації. Дослідження підкреслюють важливість одночасних інвестицій у людський капітал, розвиток компетентностей і перепід-

готовку персоналу як необхідну умову реалізації продуктивного потенціалу автоматизації. Одночасно акцентується потреба у врахуванні психофізіологічних ризиків, пов'язаних з ролями операторів АСУ ТП, та проведенні ергономічних аудитів для забезпечення безпечних умов праці.

Подальші наукові розвідки варто спрямувати на розроблення методичного інструментарію оцінювання рівня людинозаміщення та його економічного ефекту для підприємств ГМК України, з урахуванням галузевих особливостей, ступеня технологічної готовності та інвестиційних можливостей. Особливої уваги потребує дослідження інтеграції штучного інтелекту у процеси диспетчеризації, оперативного управління й технічного обслуговування обладнання, включаючи вплив IoT-систем та цифрових двійників на виробничу стабільність і безпеку. Доцільним напрямом є також оцінка соціальних ефектів роботизації та цифрової трансформації, зокрема ризиків професійного вигорання, когнітивного та сенсорного перенавантаження операторів й розроблення рекомендацій щодо гуманізації праці в умовах технологічної трансформації. Узагальнення цих результатів становитиме основу для формування державної та корпоративної політики розвитку людського капіталу й технологічної модернізації ГМК України.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лібанова Е. М. Людський капітал України: втрати внаслідок війни і перспективи повоєнного відродження : Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 5 лютого 2025 року. <https://doi.org/10.15407/vism2025.04.038>
2. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації: підручник. Харків: ФОП Панов А.М., 2021. 604 с.
3. Приходько Л. Ф. Концептуалізація поняття «цифровізація». *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Бібліотека. Комунікація. Актуальні питання збереження та інноваційного розвитку наукових бібліотек»*. 2023. URL: <http://conference.nbu.gov.ua/report/view/id/1745>
4. Acemoglu D., Lelarge C., Restrepo P. Competing with robots: Firm-level evidence from France. *AEA papers and proceedings*. 2020. Vol. 110. P. 383–388. <https://doi.org/10.1257/pandp.20201003>
5. Ballestar M. T., Diaz-Chao A., Sainz, J., Torrent-Sellens, J. Knowledge, robots and productivity in SMEs: Explaining the second digital wave. *Journal of Business Research*. 2020. Vol. 108. P. 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.11.017>
6. Kromann L., Skaksen J.R., Sorensen A. Automation, labor productivity and employment – a cross country comparison. 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/349761323\\_Automation\\_labor\\_productivity\\_and\\_employment\\_-\\_a\\_cross\\_country\\_comparison](https://www.researchgate.net/publication/349761323_Automation_labor_productivity_and_employment_-_a_cross_country_comparison)
7. Zhao Y., Said R., Ismail N. W., Hamzah H. Z. Impact of industrial robot on labour productivity: Empirical study based on industry panel data. *Innovation and Green Development*, 2024. Vol. 3, Iss. 2. Art. 100148. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100148>
8. Graetz G., Michaels G. Robots at work. *Review of Economics and Statistics*. 2018. Vol. 100, Iss. 5. P. 753–768. [https://doi.org/10.1162/rest\\_a\\_00754](https://doi.org/10.1162/rest_a_00754)
9. Cséfalvay Z. Robotization in Central and Eastern Europe: catching up or dependence?. *European Planning Studies*. 2019. Vol. 28. P. 1–20. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1694647>
10. Marshall J., Bonchis A., Nebot E., Scheding S. Robotics in Mining / Siciliano B., Khatib O. (Eds.) *Springer Handbook of Robotics*. Springer Handbooks. Springer, Cham, 2016. P. 1549–1576. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_59)
11. Skenderas D., Politi C. Industry 4.0 Roadmap for the Mining Sector. *Materials Proceedings*. 2023. Vol. 15, Iss. 1. Art. 16. <https://doi.org/10.3390/materproc2023015016>
12. Wang G., Xu Y., Ren H. Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects. *International Journal of Mining Science and Technology*. Vol. 29, Iss. 2. P. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.005>
13. Nobahar P., Xu Ch., Dowd P., Faradonbeh R. Sh. Exploring digital twin systems in mining operations: A review. *Green and Smart Mining Engineering*. 2024. Vol. 1, Iss. 4. P. 474–492. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.09.003>
14. Ivory N., Properjohn K., Forsyth L., et al. Safety 4.0 A new horizon for mining safety. *Deloitte*. 2022. URL: <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/mining-metals/perspectives/gx-safety-new-horizon-mining-safety.html>
15. Li X., McKee D. J., Horberry T., et al. The control room operator: The forgotten element in mineral process control. *Minerals Engineering*. 2011. Vol. 24, Iss. 8. P. 894–902. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.04.001>
16. Chirgwin P. Skills development and training of future workers in mining automation control rooms. *Computers in Human Behavior Reports*. 2021. Vol. 4. Art. 100115. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100115>
17. Limerick R. Human-Systems integration for the safe implementation of automation. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2020. Vol. 37, Iss. 6. P. 1799–1806. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00248-z>

Надійшла до редакції 20.01.2026

Прийнята до друку 23.02.2026

Опублікована 20.03.2026

## REFERENCES

1. Libanova, E. M. (2025). *Human capital of Ukraine: losses due to the war and prospects for post-war revival*. Proceedings of the Presidium of the NAS of Ukraine. <https://doi.org/10.15407/visn2025.04.038> [in Ukrainian].
2. Nevludov, I. Sh. (2021). *Computer-integrated production technologies for automation tools* [Textbook]. Kharkiv: Panov A. M. [in Ukrainian].
3. Prykhodko, L. F. (2023). *Conceptualization of the term "digitalization"*. Materials of the International Scientific Conference "Library. Communication. Topical issues of preservation and innovative development of scientific libraries". <http://conference.nbuv.gov.ua/report/view/id/1745> [in Ukrainian].
4. Acemoglu, D., Lelarge, C., & Restrepo, P. (2020). Competing with robots: Firm-level evidence from France. *AEA Papers and Proceedings*, 110, 383–388. <https://doi.org/10.1257/pandp.20201003>
5. Ballestar, M. T., Diaz-Chao, A., Sainz, J., & Torrent-Sellens, J. (2020). Knowledge, robots and productivity in SMEs: Explaining the second digital wave. *Journal of Business Research*, 108, 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.11.017>
6. Kromann, L., Skaksen, J. R., Sorensen, A. (2011). Automation, labor productivity and employment – a cross country comparison. URL: [https://www.researchgate.net/publication/349761323\\_Automation\\_labor\\_productivity\\_and\\_employment\\_-\\_a\\_cross\\_country\\_comparison](https://www.researchgate.net/publication/349761323_Automation_labor_productivity_and_employment_-_a_cross_country_comparison)
7. Zhao, Y., Said, R., Ismail, N. W., Hamzah H. Z. (2024) Impact of industrial robot on labour productivity: Empirical study based on industry panel data. *Innovation and Green Development*, 3(2), 100148. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100148>
8. Graetz, G., Michaels, G. (2018) Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753–768. [https://doi.org/10.1162/rest\\_a\\_00754](https://doi.org/10.1162/rest_a_00754)
9. Cséfalvay, Z. (2019). Robotization in Central and Eastern Europe: catching up or dependence? *European Planning Studies*, 28, P.1–20. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1694647>
10. Marshall, J. A., Bonchis, A., Nebot, E., & Scheduling, S. (2016). Robotics in Mining. In: Siciliano, B., Khatib, O. (Eds.) *Springer Handbook of Robotics* (pp. 1549–1576). Springer Handbooks. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_59)
11. Skenderas D, Politi C. Industry 4.0 Roadmap for the Mining Sector. *Materials Proceedings*. 2023; 15(1):16. <https://doi.org/10.3390/materproc2023015016>
12. Wang G, Xu Y, Ren H (2019) Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.005>
13. Nobahar, P., Xu, Ch., Dowd, P., & Faradonbeh, R. Sh. (2024). Exploring digital twin systems in mining operations [review]. *Green and Smart Mining Engineering*, 1(4), 474–492. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.09.003>
14. Ivory, N., Properjohn, K., Forsyth, L., et al. (2022). *Safety 4.0 A new horizon for mining safety*. URL: <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/mining-metals/perspectives/gx-safety-new-horizon-mining-safety.html>
15. Li, X, McKee, D. J., Horberry, T, et al. (2011). The control room operator: The forgotten element in mineral process control. *Minerals Engineering*, 24(8), 894–902. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.04.001>
16. Chirgwin, P. (2021). Skills development and training of future workers in mining automation control rooms. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, 100115 <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100115>
17. Limerick, R. (2020). Human-Systems integration for the safe implementation of automation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37 (6), 1799–1806. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00248-z>

Received: 20.01.2026

Accepted: 23.02.2026

Published: 20.03.2026

### Серєда Г. В. Людинозамінні технології як напрямок підвищення продуктивності праці в гірничо-металургійному комплексі

У статті досліджено вплив людинозамінних технологій на продуктивність праці в гірничо-металургійному комплексі України в умовах дефіциту робочої сили та структурних змін ринку праці. Проаналізовано механізацію, автоматизацію, роботизацію, цифровізацію та AI-аугментацію, а також їхній прямий та опосередкований ефект через зростання сукупної факторної продуктивності. Показано необхідність інвестицій у людський капітал та врахування соціально-ергономічних аспектів при впровадженні технологій.

*Ключові слова:* людинозамінні технології, роботизація, автоматизація, продуктивність праці, ГМК.

### Sereda H. Human-replacing technologies as a driver of labour productivity growth in the mining and metallurgical complex

The article examines the impact of human-replacing technologies on labour productivity in Ukraine's mining and metallurgical sector under conditions of workforce shortages and large-scale structural changes in the labour market caused by war and demographic decline. The study analyses the effects of mechanization, automation, robotization, digitalization and AI-augmentation, highlighting both their direct contribution to productivity growth and their indirect impact through increased total factor productivity. Empirical evidence from international and industry-specific studies demonstrates that higher robot density is associated with productivity gains, particularly in low-robotized sectors such as Ukraine's mining and metallurgical industry.

The research emphasizes that the implementation of human-replacing technologies leads to significant transformations in skill demand, reducing reliance on low-skilled labour while increasing the need for qualified engineers, system operators and specialists in digital technologies. Successful technological modernization requires continuous investment in human capital, reskilling and the development of digital and engineering competencies. The article also stresses the importance of integrating ergonomic assessments and human-systems-interaction approaches into automation projects to prevent cognitive overload, occupational stress and operational risks for control-room operators. These findings underscore the strategic role of human-replacing technologies in enhancing industrial productivity and ensuring the long-term resilience of Ukraine's mining and metallurgical sector.

*Keywords:* human-replacing technologies, automation, robotization, labour productivity, mining and metallurgy.