

*старший викладач кафедри економічної кібернетики
та управління економічною безпекою,*

Харківський національний університет радіоелектроніки

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6851-5340>

Пересада О.В.,

*старший викладач кафедри економічної кібернетики
та управління економічною безпекою,*

Харківський національний університет радіоелектроніки

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0388-975X>

БЛОКЧЕЙН У ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ: ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Цифрова трансформація промислового виробництва, яка стала особливо помітною в останні роки, супроводжується істотним переформатуванням структури управління матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками. У цьому контексті технологія блокчейн – як розподілений незмінний реєстр транзакцій із підтримкою криптографічної безпеки і децентралізації – набуває принципового значення. Для промислових підприємств України, які функціонують у складних соціально-економічних умовах, зокрема в умовах війни, блокчейн пропонує інструментарій підвищення прозорості, надійності, стійкості й ефективності.

Блокчейн дозволяє фіксувати кожну транзакцію – від постачання сировини до випуску кінцевої продукції – у ланцюгу постачання у незмінному вигляді, що створює основу для «економіки довіри». У дослідженні [1] наведено систематичний огляд застосувань блокчейну у сталому виробництві та ланцюгах постачання, який показує, що технологія сприяє підвищенню

прозорості, простежуваності, зниженню витрат на контроль і сприяє екологічним показникам.

Технологічні можливості блокчейну для промислових підприємств включають кілька ключових напрямів. По-перше, прозорість і незмінність записів означають, що всі операції – як внутрішні (виробничі, логістичні), так і зовнішні (постачання, сертифікація) – можуть бути зареєстровані у блокчейні, створюючи єдине довірене джерело даних. Це особливо важливо в умовах, коли підприємства мають багато контрагентів, складні ланцюги постачання або експортують продукцію. По-друге, smart-контракти – автоматичні програми, що виконують угоди при встановлених умовах – дозволяють зменшити роль посередників, скоротити вручну оброблювані операції, знизити ризики затримок і спірних випадків. По-третє, інтеграція з IoT і великими даними значно розширює можливості контролю й аналізу: сенсори можуть передавати параметри виробничих процесів чи логістичних умов (наприклад, температура, вологість, час доставки) в хід запису, який реєструється в блокчейні, що забезпечує достовірність даних і дозволяє здійснювати автоматизоване управління. По-четверте, кібербезпека – децентралізована архітектура, криптографічні механізми, консенсус-протоколи створюють новий рівень захисту від підробки даних, зміни історії транзакцій або втручання сторонніх осіб [2].

Економічна ефективність впровадження блокчейну у промислових підприємствах включає як прямі фінансові вигоди, так і опосередковані ефекти. Прямі вигоди – це скорочення транзакційних витрат, зменшення ручної роботи, оптимізація логістичних маршрутів, скорочення часу обробки документів та підтверджень, зниження кількості спорів і помилок, підвищення якості даних, що використовуються у виробничому і фінансовому обліку. Блокчейн-технології можуть трансформувати ланцюги постачання та логістику в більш прозорі, гнучкі та надійні системи, що позитивно впливає на витрати і прибутковість.

Опосередковані вигоди включають підвищення конкурентоспроможності підприємства, поліпшення іміджу (через прозорість ланцюгів постачання, підтвердження стандартів якості, слідування ESG-вимогам), підвищення інвестиційної привабливості (оскільки партнери та фінансові інституції все більше оцінюють готовність до цифровізації) й можливість інтеграції у глобальні виробничі мережі, де блокчейн стає елементом мінімальних вимог. Блокчейн сприяє підвищенню гнучкості ланцюгів постачання, скороченню інформаційної асиметрії та зміцненню довіри між учасниками [3].

Для оцінювання впливу блокчейн-технологій на ефективність промислових підприємств пропонується застосувати комбінований аналітичний підхід, який об'єднує методи економічного моделювання, експертного оцінювання та емпіричного аналізу. В таблиці 1 наведені вхідні показники оцінювання.

Таблиця 1 – Вхідні показники

№	Показник	Позначення	Одиниці виміру	Джерело
1	Капітальні витрати на впровадження блокчейну	C_{block}	млн грн	внутрішня звітність
2	Поточні ІТ-витрати до впровадження	C_{it0}	млн грн	фінансовий звіт
3	Поточні ІТ-витрати після впровадження	C_{it1}	млн грн	фінансовий звіт
4	Скорочення часу виробничого циклу	T_{opt}	%	аналітика ERP
5	Зменшення втрат від помилок у ланцюгах постачання	L_{sup}	%	логістична система
6	Збільшення обсягу реалізації за рахунок прозорості	S_{inc}	%	CRM / маркетинг

Інтегральний показник економічного ефекту (E):

$$E = (S_{inc} - L_{sup} + T_{opt}) - \frac{C_{block}}{(C_{it0} - C_{it1})} \quad (1)$$

Позитивне значення $E > 0$ свідчить про ефективність упровадження.

Інтегральний показник E доцільно трактувати як безрозмірну скалярну оцінку «чистої операційної доцільності» блокчейн-впровадження до повного дисконтованого розрахунку. Його конструкція спирається на поєднання ідей транзакційної економіки (скорочення транзакційних витрат у ланцюгах постачання), теорії виробництва (ефекти скорочення циклу та зменшення незавершеного виробництва) і базової логіки СВА (cost–benefit analysis). Сукупний «виграш процесу» представляється як зважена сума трьох елементів: приросту реалізації завдяки прозорості S_{inc} , підвищення надійності ланцюга постачання через зменшення витрат L_{sup} і оптимізації часу циклу T_{opt} . Ваги α, β, γ інтерпретуються як відносна управлінська цінність кожного ефекту для конкретного підприємства, причому $\alpha + \beta + \gamma = 1$. Для уникнення домінування одного чинника, величини $S_{inc}, L_{sup}, T_{opt}$ приводяться до співмірної шкали у відсотках до бази; за наявності великих значень T_{opt} корисна логарифмічна нормалізація $T_{opt}^H = \ln(1 + T_{opt})$, аби «часовий» ефект не перекривав інші.

Теоретично S_{inc} не тотожний зростанню виручки: у СВА враховується саме інкрементальна валова маржа $\Delta CM = \Delta Q \cdot (p - c)$, де p – ціна, c – змінні витрати, ΔQ – приріст обсягу, атрибутований блокчейну (через вищу довіру/трейсабіліті, швидший документообіг, менші відмови контрагентів). Таким чином, «натуральний» S_{inc} у відсотках є проксі до $\Delta CM / CM_{база}$, що забезпечує коректний зв'язок із грошовими потоками. Величина L_{sup} ґрунтується на зниженні очікуваних витрат у ланцюгу: штрафів, браку, переробок, простоїв, арбітражів; у термінах теорії очікуваної корисності це зміна математичного сподівання непередбачених витрат $\Delta E < 0$. Вимір у % до бази дозволяє ввести L_{sup} у єдину шкалу і додати до решти компонентів. Компонент T_{opt} має чітку економічну інтерпретацію через закон Літла: $WIP = \lambda \cdot L$. Скорочення середнього часу проходження L зменшує незавершене виробництво та складські залишки, отже – вартість оборотного капіталу та зношування. Монетизація цього ефекту легко відтворюється через річну ставку

вартості капіталу k : грошова вигода $B^{(T)} \approx k \cdot \Delta WIP$, а відносний ефект T_{opt} є його безрозмірним представленням.

Друга частина формули E , відображає часову норму окупності CAPEX за рахунок чистої ІТ-економії (різниці операційних витрат до/після), тобто «скільки років економії ІТ потрібно, щоб відбити інвестицію». У термінах теорії інвестицій це орієнтовний статичний payback, який уводиться як «штраф» до агрегованого процентного виграшу процесу. Чим більший CAPEX відносно щорічної ІТ-економії, тим важче проєкт «пробиває» позитивний E без сильних процесних ефектів. Така побудова на рівні індикатора є свідомо консервативною: вона убезпечує від хибнопозитивних рішень, коли локальні покращення KPI не перекривають капіталомісткість інтеграції з ERP та IoT.

З погляду ідентифікації причинності важливо, щоб S_{inc} , L_{sup} , T_{opt} були інкрементальними саме завдяки блокчейну, а не зовнішнім шокам. Найстійкіший підхід – difference-in-differences: однакові підрозділи (лінії, склади) спостерігаються «до/після», причому частина слугує контрольними групами без впровадження. Регресійна специфікація з фіксованими ефектами й сезонністю дозволяє відфільтрувати зміни попиту, цін і енергетичних перебоїв. Додатково можна застосовувати інструментальні змінні (наприклад, поетапний календар підключень) для зменшення упередження селекції. Оцінені у відсотках ефекти потім безпосередньо підставляються у E , а для фінальної СВА-перевірки конвертуються у грошові потоки.

Метод RCI (Return–Cost Index):

$$RCI = \frac{\text{Економічна вигода від скорочення операційних витрат}}{\text{Сукупні витрати на впровадження блокчейну}}. \quad (2)$$

Критерій $RCI > 1$ означає економічну доцільність у сенсі позитивного NPV, але для промислових ІТ-проєктів практичний «зелений» поріг вищий (наприклад, $RCI > 1,3$): запас 30% компенсує інтеграційні ризики, можливі зсуви строків, курсові та енергетичні шоки. Діапазон $0,9 < RCI < 1,3$ описує сіру зону, де

рішення залежать від стратегічних міркувань (ESG, доступ до ринків із вимогами простежуваності, технологічна незалежність), тоді як $RCI < 0.9$ за відсутності обов'язкових зовнішніх вимог зазвичай сигналізує про економічну недоцільність.

Оцінювання нефінансових вигід від упровадження блокчейн-технологій у промислових підприємствах має ключове значення, оскільки частина ефектів не піддається безпосередній грошовій оцінці, але істотно впливає на конкурентоспроможність і довгострокову стійкість бізнесу. У рамках сучасної теорії управління інноваціями нефінансові вигоди трактуються як квалітативні параметри створення доданої вартості, які формують репутаційний, інформаційний і організаційний капітал підприємства [4].

Блокчейн у промисловості створює низку таких нефінансових ефектів:

- зростання прозорості бізнес-процесів, що зміцнює довіру між контрагентами, клієнтами та регуляторами;
- покращення простежуваності походження продукції, що відповідає вимогам європейських стандартів ESG та сталого розвитку;
- зменшення ризиків шахрайства і фальсифікацій, особливо у сферах, де важлива достовірність сертифікаційних даних;
- підвищення безпеки обробки інформації завдяки децентралізованій структурі та криптографічним протоколам;
- зміцнення корпоративної культури довіри та цифрової відповідальності, що сприяє формуванню позитивного бренду роботодавця.

Для вимірювання таких вигід використовується метод експертних коефіцієнтів, який поєднує принципи багатокритеріального аналізу (MCDM) та елементів методу аналітичних ієрархій (АНР). Його суть полягає у формалізації суб'єктивних експертних оцінок у кількісні показники, що дозволяє здійснити порівняльну інтерпретацію «немонетарних» ефектів у загальній моделі ефективності проєкту.

Процедура оцінки передбачає кілька етапів. Спочатку визначається множина критеріїв нефінансового ефекту – прозорість, простежуваність, безпека, інноваційність, довіра контрагентів, соціальна відповідальність. Кожному критерію надається ваговий коефіцієнт, що відображає його відносну важливість для підприємства. Ваги визначаються або експертним ранжуванням, або за допомогою АНР через попарні порівняння з перевіркою індексу узгодженості ($CR \leq 0,1$).

На другому етапі експерти (зазвичай представники ІТ-департаменту, виробничих підрозділів і служби якості) оцінюють ступінь реалізації кожного критерію у п'ятибальній шкалі, де 1 – мінімальний ефект, 5 – максимальний. Результати усереднюються, після чого обчислюється інтегральна оцінка:

$$I_{NF} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot s_i, \quad (3)$$

де s_i – середня оцінка ефекту за критерієм i ;

I_{NF} – узагальнений індекс нефінансових вигід.

Якщо $I_{NF} > 4,0$, це свідчить про високий нефінансовий потенціал упровадження технології; інтервал 3,0 - 4,0 вказує на помірний, але стійкий ефект, а значення нижче 3,0 – на недостатній нефінансовий результат, що може бути пов'язано з обмеженим рівнем цифрової зрілості підприємства або слабкою інтеграцією блокчейну в бізнес-процеси.

Аналітична цінність методу полягає в тому, що він дозволяє врахувати нематеріальні аспекти вартості підприємства, які важко виміряти через традиційні фінансові моделі. Так, підвищення прозорості та довіри з боку контрагентів може безпосередньо не збільшувати прибуток у короткостроковій перспективі, але знижує транзакційні ризики, спрощує доступ до зовнішнього фінансування й формує основу для довгострокової стабільності.

Крім того, нефінансові вигоди тісно пов'язані з індикаторами ESG-звітності (Environmental, Social, Governance). Блокчейн створює можливість автоматичного збору даних для звітів про викиди, енерговитрати, етичні

стандарти постачальників. Це підвищує репутаційну цінність підприємства на міжнародних ринках і може стати чинником зниження вартості капіталу.

Отже, метод експертних коефіцієнтів дозволяє не лише кількісно відобразити нефінансові вигоди, а й поєднати їх із фінансовими показниками в єдиній аналітичній моделі ефективності впровадження блокчейну. Такий підхід відповідає концепції stakeholder value, де стратегічне рішення оцінюється не лише через прибуток, а й через довгострокову цінність для зацікавлених сторін – акціонерів, клієнтів, працівників і суспільства загалом.

Разом із тим, на практиці блокчейн стикається з низкою суттєвих бар'єрів – і саме їх подолання визначає, чи буде технологія реалізована з очікуваною вигодою. Першим бар'єром є нормативно-правова невизначеність: у багатьох країнах, зокрема й в Україні, відсутня чітка правова база, стандарти взаємодії, регулювання цифрових активів і реєстрів, що створює ризик для підприємств, які інвестують у нову технологію. Підприємства можуть побоюватися юридичної від-повідальності, відсутності правового статусу середовища, чи навіть блокування технологій через регуляторні зміни. Другим бар'єром є технічна складність і інтеграція з існуючими системами: промислові підприємства часто мають застарілу ERP/SCADA-інфраструктуру, велике число ручних або напівавтоматичних процесів, що ускладнює інтеграцію блокчейну. Інтеграція IoT-датчиків, сенсорів, великої маси даних (Big Data), інтеграція з smart-контрактами – усе це потребує ресурсів, часу, змін процесів і значних капітальних витрат. Основними викликами блокчейну у виробничому середовищі є масштабування, стандартизація протоколів і сумісність із існуючими системами.

Третій бар'єр пов'язаний із людським фактором і організаційною готовністю: технологія блокчейн означає зміну моделі управління, підвищення вимог до цифрових компетентностей персоналу, перехід від централізованого контролю до більш децентралізованої моделі взаємодії. Це може викликати опір, особливо в компаніях із усталеною культурою управління і слабкою ІТ-підтримкою. Четвертий бар'єр – фінансовий: впровадження блокчейну може вимагати значних капітальних вкладень, яких підприємства не завжди готові

здійснити в умовах економічної нестабільності, високих ризиків, перебоїв з постачанням чи енергетичної кризи. П'ятий бар'єр – кібербезпека: хоча блокчейн має високий рівень незмінності, він не усуває проблему введення ненадійних даних на вході («garbage in, garbage out») – сенсори чи люди можуть внести некоректні дані, що система потім незмінно збереже. Відсутність верифікації первинних даних суттєво обмежує ефективність блокчейну у промисловому контексті [5].

У контексті України впровадження блокчейну в промислових підприємствах має особливі виклики. З одного боку, українські компанії стикаються з потребою підвищення стійкості, оптимізації ресурсів, модернізації виробничих процесів, інтеграції у європейські і глобальні ланцюги вартості. З іншого – інфраструктурні виклики (перебої з енергопостачанням, логістичні ризики, недостатня ІТ-інфраструктура), регуляторна невизначеність, кадрові обмеження (недостатня кількість фахівців із цифровими компетенціями) і високий рівень ризиків у ситуації воєнного стану. У цих умовах технологія блокчейн може стати засобом підвищення надійності та прозорості виробничих процесів, але лише за умови системного підходу – поетапного впровадження, чіткої бізнес-моделі і оцінки ефектів. Методологічно доцільно почати з пілотного проекту – вибору обмеженого процесу (наприклад, трейсабіліті сировини або маршрут експорту), встановлення КРІ (час обробки документації, кількість помилок, витрати на перевірку), визначення моделі ROI (відношення вигод до витрат), аналізу чутливості (наприклад, що відбудеться, якщо витрати перевищать план на 20 % чи вигоди будуть на 30 % нижчі) і поетапного масштабування [6].

Загалом, технологія блокчейн у промислових підприємствах України створює не просто можливість модернізації, а умову для переходу до нової парадигми виробничого управління, заснованої на децентралізації, довірі, автоматизації і інтеграції даних. Водночас реалізація цього потенціалу потребує:

- адаптованої правової та нормативної рамки;
- модернізації ІТ- та сенсорної інфраструктури;

- підвищення цифрових компетентностей персоналу;
- фінансових інструментів, зокрема державно-бізнесових схем підтримки;
- управління ризиками, пов'язаними з кібербезпекою, обробкою даних та змінами в організаційній культурі.

Тільки за цих умов можна очікувати, що блокчейн стане одним із рушіїв інноваційного розвитку промисловості України і дозволить підприємствам підвищити ефективність, зменшити витрати, підсилити позиції на міжнародному ринку та підвищити стійкість до зовнішніх викликів.

Перелік джерел посилання

1. Ткач Л. Стан впровадження блокчейн технології в економіку України, враховуючи виклики сьогодення. *Економіка та суспільство*. 2024. № 69. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-69-79>
2. Загвойська Л., Соловій І., Пелюх, О. Штучний інтелект і блокчейн у бізнесі 4.0: можливості та виклики для сталого розвитку. *Grail of Science*. 2025. № 48. С. 140-150. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.10.01.2025.014>
3. Солодовнік О. О., Докуніна К. І. Технологія блокчейн: суть і перспективи використання в системі державних фінансів України. *Бізнес Інформ*. 2021. no. 3. pp. 126-131. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-3-126-131>.
4. Stratopoulos T. C., Victor Xiaoqi Wang, Ye H. (Jonathan) Use of Corporate Disclosures to Identify the Stage of Blockchain Adoption. *Accounting Horizons*. 2022. no. 36 (1). pp. 197–220. DOI: <https://doi.org/10.2308/HORIZONS-19-101>
5. Назаров В.С. Застосування технології блокчейн у підвищенні якості і стимулюванні системного зростання у сучасній економіці. *Економіка і регіон*. 2023. № 4(91). С. 230-235. DOI: [https://doi.org/10.26906/EiR.2023.4\(91\).3217](https://doi.org/10.26906/EiR.2023.4(91).3217)
6. Кравченко О., Шаповал О., Небаба Н., Ботвінов Р. Блокчейн-технології: стан та перспективи розвитку в Україні. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2021. № 300 (6(2)). С. 267-272. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2021-300-6/2-44>