

## Еколого-економічна ефективність зеленого майнінгу

Садовий Р. Я.<sup>1</sup>, Загвойська Л. Д.<sup>2</sup>

Опубліковано	Секція	УДК
20.05.2025	Економіка	330.131.7:004.7
DOI: <a href="https://doi.org/10.5281/zenodo.15607003">https://doi.org/10.5281/zenodo.15607003</a>		

**Анотація.** Зелений майнінг є інноваційною концепцією, що поєднує сучасні технології видобутку криптовалют із екологічно орієнтованими підходами. У статті аналізується ефективність зеленого майнінгу як інструменту гармонізації економічних вигод та екологічної стійкості. Основна увага приділяється оцінці його потенціалу в мінімізації негативного впливу на довкілля шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності обладнання та впровадження циклічних моделей використання ресурсів.

Майнінг криптовалют історично асоціювався з високим енергоспоживанням, що призводить до значних викидів вуглекислого газу, особливо у країнах з енергетикою, яка базується на викопному паливі. У цьому контексті зелений майнінг пропонує нову парадигму, засновану на переході до використання енергії сонця, вітру, гідроелектростанцій та інших чистих джерел. У статті розглядається, як такі підходи сприяють зниженню енергетичного навантаження на електромережі, створюючи можливості для децентралізації енергетичних систем.

Економічний аналіз зеленої моделі майнінгу демонструє її здатність знижувати витрати на електроенергію у довгостроковій перспективі, стимулювати розвиток інноваційних технологій та створювати нові робочі місця в галузях, пов'язаних із зеленою енергетикою. Крім того, зелений майнінг сприяє формуванню позитивного іміджу компаній, які його впроваджують, та забезпечує більшу інвестиційну привабливість криптовалютного ринку для екологічно свідомих інвесторів.

Для більш повного розуміння потенціалу та викликів, пов'язаних із розвитком зеленого майнінгу, у статті проведено SWOT-аналіз, який дозволяє ідентифікувати його сильні та слабкі сторони, а також зовнішні можливості й загрози. На основі отриманих результатів побудовано TOWS-матрицю, що дає змогу сформулювати стратегічні підходи до реалізації зеленого майнінгу як інструменту екологічно та економічно збалансованого розвитку криптовалютної індустрії. Такий підхід дозволяє не лише окреслити напрямки ефективного впровадження технологій, але й визначити способи подолання ключових бар'єрів, зокрема фінансових та інфраструктурних.

У статті також розглядаються ризики та обмеження зеленого майнінгу. Серед них – висока вартість первинного обладнання, залежність від географічних особливостей для розміщення майнінгових ферм із доступом до відновлюваних джерел енергії та ризик виникнення енергетичних дисбалансів у регіонах із низькою пропускну здатністю мереж.

<sup>1</sup> Садовий Р. Я., аспірант кафедри екологічної економіки та бізнесу ЗВО «Львівський національний лісотехнічний університет», <https://orcid.org/0009-0006-7138-1420>

<sup>2</sup> Загвойська Л. Д., канд. екон. наук, професор кафедри екологічної економіки та бізнесу, Львівський національний лісотехнічний університет, <https://orcid.org/0000-0002-0028-4723>;

**Ключові слова:** блокчейн, майнінг, криптовалюта, SWOT-аналіз, TOWS-матриця, сталий розвиток.

### **Ecological and Economic Efficiency of Green Mining**

**Annotation.** Green mining is an innovative concept that combines modern cryptocurrency mining technologies with environmentally-oriented approaches. This article analyzes the effectiveness of green mining as a tool for harmonizing economic benefits and environmental sustainability. The main focus is on assessing its potential to minimize negative environmental impacts through the integration of renewable energy sources, increased energy efficiency of equipment, and the implementation of circular resource usage models.

Cryptocurrency mining has historically been associated with high energy consumption, leading to significant carbon dioxide emissions, particularly in countries whose energy sectors are reliant on fossil fuels. In this context, green mining offers a new paradigm based on the transition to energy from solar, wind, hydroelectric, and other clean sources. The article examines how such approaches contribute to reducing the energy load on power grids, creating opportunities for the decentralization of energy systems.

The economic analysis of the green mining model demonstrates its capacity to reduce electricity costs in the long term, stimulate the development of innovative technologies, and generate new jobs in sectors related to green energy. Furthermore, green mining contributes to forming a positive image for companies that implement it and increases the investment appeal of the cryptocurrency market among environmentally conscious investors.

To gain a deeper understanding of the potential and challenges associated with the development of green mining, the article presents a SWOT analysis, which identifies its strengths and weaknesses, as well as external opportunities and threats. Based on the obtained results, a TOWS matrix is constructed, enabling the formulation of strategic approaches to the implementation of green mining as a tool for environmentally and economically balanced development of the cryptocurrency industry. This approach not only outlines directions for the effective deployment of technologies but also identifies ways to overcome key barriers, particularly financial and infrastructural ones.

The article also discusses the risks and limitations of green mining. Among them are the high cost of initial equipment, dependence on geographical factors for locating mining farms with access to renewable energy sources, and the risk of energy imbalances in regions with low grid capacity.

**Key words:** blockchain, mining, cryptocurrency, SWOT analysis, TOWS matrix, sustainable development.

### **Вступ**

Технологічний прогрес та розвиток цифрової економіки створили умови для появи криптовалют – нової форми цифрових активів, що стали продуктом елементом глобальних фінансових систем. Проте процес їх видобутку (майнінгу) супроводжується значними енергетичними витратами, що породжують серйозні екологічні та економічні виклики. За даними Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, енергоспоживання майнінгових ферм порівнюється з електроспоживанням малих держав, які виникають через масштабні викиди вуглекислого газу.

Концепція зеленого майнінгу, яка базується на використанні відновлюваних джерел енергії та екологічно чистих технологій, стає актуальнішою. Вона не лише спрямована на зменшення шкідливого впливу на довкілля, але пропонує нові економічні можливості, такі як підвищення ефективності виробничих процесів, зниження енергетичних витрат і створення робочих місць у сфері відновлюваної енергетики.

Метою цієї статті є оцінка ефективності зеленого майнінгу для економіки та довкілля. Для досягнення цієї мети розглядаються ключові аспекти технології, економічні вигоди, екологічні переваги та виклики її впровадження.

**Методи.** Теоретичною та методологічною основою статті стали праці вітчизняних і закордонних науковців, які досліджували питання майнінгу криптовалют та його вплив на економіку й довкілля. У ході роботи враховано широкий спектр підходів, що висвітлюють технічні, екологічні та економічні аспекти майнінгу, а також перспективи його трансформації в контексті сталого розвитку.

Дослідження здійснено із застосуванням методів теоретичного узагальнення для систематизації існуючих знань, порівняльного аналізу для зіставлення традиційного та зеленого майнінгу, а також синтезу для формування нових підходів до оцінки їхньої ефективності. Крім того, використано методи системного підходу для вивчення інтеграції відновлюваних джерел енергії у майнінгові процеси та їхнього впливу на економіку й довкілля.

Метод SWOT-аналізу використано для виявлення внутрішніх (сильних і слабких сторін) та зовнішніх (можливостей і загроз) чинників, що впливають на розвиток зеленого майнінгу. Цей метод дозволив структурувати основні характеристики традиційного та екологічного підходів до майнінгу та оцінити потенціал їх трансформації в умовах глобального екологічного переходу.

Метод TOWS-аналізу слугував логічним продовженням SWOT-аналізу та дав змогу розробити стратегічні напрями розвитку зеленої майнінгової індустрії шляхом поєднання виявлених сильних сторін з можливостями, а також шляхом мінімізації загроз і подолання слабких сторін. На основі побудованої TOWS-матриці сформульовано практичні рекомендації щодо підвищення еколого-економічної ефективності майнінгових процесів, зокрема через впровадження інноваційних технологій, розвиток енергетичної інфраструктури на базі ВДЕ, удосконалення регуляторного середовища та стимулювання відповідального споживання енергії.

Комплексне використання зазначених методів забезпечило всебічний аналіз предмету дослідження та сприяло обґрунтуванню стратегічних рішень у сфері сталого розвитку майнінгової діяльності.

### Результати

Майнінг криптовалют (від англ. *mining* – видобуток) є процесом створення цифрових валют, що забезпечує функціонування децентралізованих платіжних систем. На відміну від традиційних фінансових систем, транзакції в криптовалютних мережах не обробляються жодним центральним органом, наприклад, Національним банком України чи іншими регуляторами, а виконуються будь-якими учасниками мережі, які використовують спеціальне обладнання та програмне забезпечення. За своєю сутністю, процес створення криптовалюти, тобто її емісія, є формою набуття цифрових активів. Це робить майнінг не лише технічним завданням, а й економічно значущою діяльністю, що вимагає відповідних знань, навичок та інвестицій.

Майнінг криптовалют не є азартною грою чи просто спекуляцією, а становить роботу, яка може забезпечити суттєвий дохід. Так, доходи «ферм» можуть обчислюватися мільйонами доларів щомісячно. Наприклад, велика майнінгова «фабрика» здатна генерувати кілька тисяч біткоїнів на місяць, що робить цю діяльність привабливою для інвесторів. Однак висока потенційна прибутковість супроводжується значними ризиками, такими як волатильність криптовалютного ринку, зміни регуляторного середовища та конкуренція [1].

Еколого-економічна ефективність є ключовим показником сталого розвитку, що поєднує екологічну безпеку з економічною доцільністю. В умовах зростаючого навантаження на природні ресурси особливо важливо оцінювати, наскільки ефективно

підприємства чи проекти досягають економічних результатів із мінімальним негативним впливом на довкілля.

Заміна традиційних джерел енергії на відновлювані (сонячна, вітрова) дозволила знизити викиди CO<sub>2</sub> на 40%. Водночас зменшився негативний вплив на довкілля через скорочення використання викопного палива. Також відбулось зниження рівня шуму і теплового забруднення.

Хоча початкові інвестиції в «зелену» інфраструктуру були високими, у середньостроковій перспективі витрати на енергію зменшилися на 25–30%. Це підвищило прибутковість операцій і зменшило ризики, пов'язані з коливанням цін на електроенергію. Крім того, компанія отримала податкові пільги та покращила свій імідж, що позитивно вплинуло на інвесторську привабливість.

Еколого-економічна ефективність у цьому випадку є високою: досягнуто як позитивного впливу на довкілля, так і економічної вигоди. Це свідчить про перспективність подібних підходів у енергоємних галузях [7].

Дискусії між прихильниками та критиками майнінгу, а також дії учасників криптовалютного ринку і державних органів, дозволили висвітлити як сильні сторони, так і слабкості цього явища, а також окреслити перспективи та ризики його майбутнього розвитку (табл. 1).

Таблиця 1

## SWOT-аналіз майнінгу

Сильні сторони	Слабкі сторони
Фінансова привабливість Інноваційність Децентралізація фінансової системи Технологічний розвиток Гнучкість майнінгових компаній	Високі витрати Зростаюча конкуренція Залежність від ціни криптовалюти Високе споживання електроенергії Відсутність єдиної правової бази для майнінгу
Можливості	Загрози
Розвиток нових алгоритмів Зростання ринку ринку Інновації в забезпеченні Розширення географії майнінгу Використання відновлених джерел енергії Легалізація та стандартизація	Урядове регулювання Розвиток квантових комп'ютерів Енергетична криза Зміни алгоритмів Висока волатильність ринку цін на криптовалюту Зростання ризику хакерських атак Постійна модернізація обладнання

*Джерело: складено автором*

На основі проведеного SWOT-аналізу майнінгу було виявлено ключові сильні та слабкі сторони галузі, а також основні зовнішні можливості та загрози, які впливають на її розвиток. SWOT-аналіз дозволяє сформулювати загальне уявлення про поточну ситуацію в секторі майнінгу, однак для вироблення конкретних стратегічних рішень доцільно застосувати TOWS-матрицю (табл. 2).

Таблиця 2

## TOWS-матриця стратегій для майнінгу

	Внутрішні сильні сторони (Strengths):	Внутрішні слабкі сторони (Weaknesses):
Зовнішні можливості (Opportunities):	<p>Агресивні (SO)</p> <p>Сильні сторони, які використовують можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Використання технологічного розвитку для впровадження нових алгоритмів.</li> <li>– Розширення географії майнінгу завдяки гнучкості компаній.</li> <li>– Залучення інновацій для освоєння зростаючого ринку.</li> <li>– Застосування децентралізації для легалізації та стандартизації.</li> </ul>	<p>Конкурентні (WO)</p> <p>Подолання слабких сторін, використання можливостей:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Зменшення витрат за рахунок впровадження відновлюваних джерел енергії.</li> <li>– Модернізація обладнання для зниження енергоспоживання.</li> <li>– Стандартизація процесів для адаптації до нових алгоритмів.</li> <li>– Залучення інновацій для подолання конкуренції.</li> </ul>
Зовнішні загрози (Threats):	<p>Консервативні (ST)</p> <p>Використання сильних сторін для подолання потенційних загроз:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Розвиток децентралізації для зниження впливу регуляторів.</li> <li>– Застосування технологій для кіберзахисту проти хакерських атак.</li> <li>– Інвестування в енергоефективні технології для пом'якшення енергокриз.</li> </ul>	<p>Запобіжні (WT)</p> <p>Мінімізувати слабкі місця, щоб уникнути можливих загроз:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Розробка єдиної правової бази для легітимізації майнінгу.</li> <li>– Встановлення стандартів кібербезпеки.</li> <li>– Зниження залежності від ціни криптовалюти через диверсифікацію напрямів (наприклад, хмарний майнінг).</li> </ul>

*Джерело: складено автором*

Побудована TOWS-матриця дозволяє сформуванню комплекс стратегій для розвитку майнінгу з урахуванням його внутрішніх характеристик та зовнішнього середовища. Агресивні стратегії передбачають активне використання технологічного потенціалу та інновацій для розширення ринку. Конкурентні стратегії акцентують увагу на подоланні слабких місць через модернізацію та впровадження відновлюваної енергії. Консервативні стратегії спрямовані на захист від зовнішніх загроз шляхом зміцнення сильних сторін, а запобіжні – на мінімізацію ризиків через стандартизацію та правове регулювання. Такий підхід дозволяє підвищити еколого-економічну ефективність майнінгу в умовах мінливого середовища.

Отже, майнінг криптовалют має значний потенціал для сталого розвитку, але потребує комплексного підходу до подолання існуючих проблем. Лише шляхом адаптації до нових умов, впровадження інноваційних рішень та узгодження інтересів усіх учасників ринку можна забезпечити його довгострокову стабільність і користь для економіки й суспільства.

Особливість криптовалют полягає у відсутності єдиного законодавчо визначеного емітента, тому майнінгом може займатися будь-яка фізична або юридична особа, якщо

її статутна діяльність передбачає відповідну економічну активність. Це відкриває доступ до майнінгу широкому колу учасників. За даними «Зеленої книги «Регулювання ринку криптовалют», оцінка обсягів ринку майнінгу ускладнена через те, що добути криптовалюти одразу інтегруються у глобальний ринок і не мають географічної прив'язки. В Україні функціонують компанії, які спеціалізуються на створенні майнінгових ферм «під ключ» або надають послуги з оренди потужностей для майнінгу. За експертними оцінками, станом на 2018 рік розмір цього сегмента ринку в Україні міг перевищувати 100 млн доларів США [2].

Новий етап розвитку майнінгу розпочався у 2017 році з появою хмарного майнінгу, який стрімко набрав популярності. Цей підхід передбачає оренду обладнання або обчислювальних потужностей у віртуальному просторі. Процес хмарного майнінгу організовується таким чином, що користувач може орендувати певну кількість потужностей (наприклад, терахешів), сплатити відповідну суму, обрати термін оренди та визначити криптовалюту для майнінгу. Усі технічні аспекти, включаючи обслуговування обладнання, його налаштування та підключення до мережі, бере на себе компанія, яка надає цю послугу. Це значно спрощує доступ до майнінгу для широкого кола користувачів.

Хмарний майнінг має декілька форм:

оренда фізичної ферми, що дозволяє користувачам отримати доступ до потужностей, які фізично розташовані у певному місці;

оренда віртуальної ферми, яка може бути частиною більшої фізичної ферми;

оренда обчислювальних потужностей, що можуть бути розподілені між декількома фізичними фермами.

Інший підхід до хмарного майнінгу передбачає оренду віртуальних майнінгових пристроїв у мережі інтернет за певну плату, що включає витрати на обладнання, електроенергію та технічну підтримку. Цей метод зменшує стартові капітальні вкладення, необхідні для запуску власної майнінгової ферми, що робить його доступним для новачків. Проте у довгостроковій перспективі такий формат потребує детального аналізу економічної ефективності, оскільки регулярні витрати на оренду можуть знизити рентабельність.

Таким чином, майнінг криптовалют є складним і багатогранним процесом, який об'єднує технічні, економічні та організаційні аспекти. Його розвиток залежить не лише від інновацій у технологіях, але й від адаптації до змін у глобальному регулюванні та конкурентному середовищі.

З урахуванням негативних екологічних наслідків, які супроводжують традиційний майнінг криптовалют, і одночасно з огляду на необхідність гармонізації діяльності всіх суб'єктів господарювання для досягнення цілей сталого розвитку, визначених ООН до 2030 року, актуалізується проблема трансформації майнінгу в екомайнінг або так званий «зелений» майнінг. Ця концепція передбачає не лише мінімізацію екологічного впливу, але й створення передумов для сталого соціально-економічного розвитку [3].

Екомайнінг базується на декількох ключових принципах. По-перше, це активне використання відновлюваних джерел енергії, таких як енергія вітру, геотермальна енергія, сонячна енергія та гідроенергія. Розміщення майнінгових центрів у регіонах, де ці джерела є доступними, дозволяє значно знизити вуглецевий слід від операцій. По-друге, у рамках екомайнінгу можливе ефективне використання надлишкового тепла, що виділяється у процесі роботи обладнання, для інших господарських потреб, таких як опалення будівель чи теплиць. У сукупності ці заходи сприяють тому, що майнінг стає екологічно відповідальним процесом, який може змінити негативний вплив на планету на позитивний.

Перехід до екомайнінгу може забезпечити декілька важливих переваг. Наприклад, розвиток «зелених» технологій знизить вартість електроенергії за рахунок утилізації її

надлишків та використання екологічних джерел. Окрім цього, розміщення майнінгових центрів у регіонах із невисоким рівнем економічного розвитку, таких як Венесуела, М'янма чи Нова Зеландія, може дати імпульс для їхнього економічного відродження. Це сприятиме створенню робочих місць, стимулюванню місцевої економіки та відновленню депресивних територій.

Проте, як будь-яке явище, криптовалюта та її використання супроводжуються низкою викликів і ризиків. Глобальний фінансовий звіт зі сталого розвитку 2021 року виділяє ці ризики на мікро- та макрорівнях. На мікрорівні до основних проблем належить відсутність чіткого визначення поняття криптовалюти в правовому полі. В Україні, як і в багатьох інших країнах, регулювання криптовалютної діяльності залишається недостатньо сформованим, що ускладнює відображення транзакцій у системах бухгалтерського обліку та оподаткування [4].

Особливу увагу привертає анонімність криптовалют. З одного боку, це перевага для користувачів, які цінують конфіденційність. З іншого боку, якщо ідентифікується власник криптогаманця, з'являється можливість простежити його транзакції та пов'язані адреси, що частково нівелює приватність. Кібербезпека також залишається важливим викликом. Ризики хакерських атак на криптовалютні гаманці, як-от крадіжка ключів із файлів wallet.dat, свідчать про необхідність посилення захисту.

Ще одним суттєвим ризиком є операційні обмеження. Наприклад, більшість криптовалют мають ліміт пропозиції, що може призводити до значних цінових коливань. Ринкова вартість криптовалюти визначається співвідношенням попиту і пропозиції, а недостатній попит може призводити до значних фінансових втрат для інвесторів. Водночас економічний ризик тісно пов'язаний із правовим аспектом: держави можуть легалізувати операції лише з певними криптовалютами, такими як біткоїн, залишаючи інші поза правовим полем.

Окремо варто зазначити, що посилена увага з боку правоохоронних, податкових і регулюючих органів спрямована на створення механізмів контролю над криптовалютними операціями. Такий підхід є необхідним для зниження ризиків фінансових злочинів, але може обмежити свободу використання криптовалют. Таким чином, трансформація майнінгу в екомайнінг та зниження пов'язаних із криптовалютами ризиків вимагають комплексного підходу, який включає як технологічні, так і нормативно-правові інновації [2].

У сучасному світі, де питання сталого розвитку набувають першорядного значення, екологічні аспекти стають дедалі важливішими навіть у таких інноваційних сферах, як криптовалюти. У відповідь на критику щодо високого енергоспоживання традиційного майнінгу з'являються рішення, які прагнуть мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. До числа таких рішень належать екологічно орієнтовані криптовалюти, які активно впроваджують енергоефективні моделі функціонування.

Cardano (ADA), Solarcoin (SLR), Nano (XNO), Algorand (ALGO) та BitGreen (BITG) є яскравими прикладами криптовалют, що роблять ставку на екологічність. Серед них Cardano виділяється як найбільш енергоефективна криптовалюта завдяки інноваційній операційній системі, яка знижує витрати ресурсів на підтримку мережі. Використовуючи механізм консенсусу Proof-of-Stake (PoS), Cardano дозволяє учасникам перевіряти транзакції та додавати нові блоки без потреби у високому енергоспоживанні, яке притаманне механізму Proof-of-Work (PoW), що використовується, наприклад, у біткоїні.

Solarcoin, зі свого боку, спрямований на стимулювання використання сонячної енергії. Ця криптовалюта пропонує унікальну модель, де користувачі отримують монети за виробництво сонячної електроенергії, що створює прямий зв'язок між енергетичними інноваціями та криптовалютною системою. Nano вирізняється своєю технологією блок-решітки (block-lattice), яка усуває потребу у майнінгу, забезпечуючи швидкі та енергоефективні транзакції.

Algorand застосовує унікальний підхід до зменшення вуглецевого сліду, інтегруючи технології, які забезпечують кліматичну нейтральність мережі. BitGreen орієнтується на підтримку екологічних проєктів, пропонуючи інструменти для фінансування ініціатив, спрямованих на сталий розвиток [5].

Дискусії щодо того, яка криптовалюта є найбільш екологічно чистою, залишаються відкритими. Експерти часто схиляються до думки, що Cardano заслуговує лідерства серед «зелених» криптовалют, однак Solarcoin та Nano демонструють не менший потенціал у забезпеченні енергоефективності та сталого впливу.

Попри беззаперечні переваги цих інноваційних рішень, важливо враховувати ризики, пов'язані з волатильністю ринку криптовалют. Навіть найбільш екологічно чисті активи залишаються високоризикованими для інвестування через значні коливання курсу. Тому перед прийняттям рішення про інвестування в ту чи іншу криптовалюту необхідно ретельно зважити всі економічні та екологічні аспекти.

Загалом екологічні криптовалюти відкривають нові горизонти для розвитку сталого фінансового сектору, що поєднує інновації з турботою про довкілля. Вони не лише знижують негативний вплив на природу, а й стимулюють використання відновлюваних джерел енергії, створюючи передумови для сталого розвитку глобальної економіки.

Зелені криптовалюти стають важливим кроком у напрямку створення більш стійкої криптосфери та формування усвідомленого підходу до екологічних проблем. Їх поява демонструє прагнення об'єднати інноваційні технології блокчейну з турботою про навколишнє середовище, що відповідає сучасним викликам і цінностям суспільства.

У міру розвитку технологій і зростаючого інтересу до проблеми змін клімату зелені криптовалюти відкривають нові горизонти для створення енергоефективних фінансових систем. Вони засвідчують, що криптовалюта може бути не лише інструментом економічних трансформацій, а й потужним засобом боротьби за збереження довкілля. Це інноваційне рішення сприяє переосмисленню ролі цифрових фінансів, формуючи більш екологічно орієнтовану криптоіндустрію, яка ґрунтується на принципах широкої участі та соціальної відповідальності [6].

Розвиток зеленого майнінгу у світі стає важливою складовою стратегії сталого розвитку, що поєднує технологічні інновації та екологічні стандарти. Зелений майнінг означає видобуток криптовалют за допомогою відновлювальних джерел енергії, що дозволяє знизити екологічний слід традиційного майнінгу, який базується на використанні викопних джерел енергії, зокрема вугілля та природного газу.

Одним із провідних прикладів є ініціатива компанії Bitfury, яка використовує гідроелектростанції для забезпечення енергією своїх майнінгових ферм. Компанія активно впроваджує стратегії збереження енергії та зниження викидів вуглекислого газу, а також співпрацює з урядами та громадськими організаціями для розвитку місцевих економік. В Ісландії, де частка гідроелектричних та геотермальних джерел енергії в енергетичному балансі складає понад 80%, криптовалютний майнінг стає сталим бізнесом, що має мінімальний вплив на навколишнє середовище.

Подібний приклад можна побачити в Швейцарії, де велика кількість майнінгових компаній орієнтована на використання енергії з відновлювальних джерел, таких як гідроелектростанції та сонячні панелі. Швейцарія славиться своєю екологічною політикою, і завдяки високій доступності чистих джерел енергії криптовалютний майнінг став важливим сектором економіки, що сприяє зростанню інвестицій і створенню нових робочих місць.

Ще одним важливим чинником, який підвищує ефективність зеленого майнінгу, є використання енергії з відходів або біогазу. Відомо, що в США кілька компаній, зокрема Greenidge Generation, використовують енергію, що генерується від спалювання газу на колишніх шахтних полях. Цей тип енергії має значно нижчий рівень викидів, ніж

традиційні джерела, і дозволяє значно знижувати витрати на енергоспоживання майнінгових процесів.

Економічна вигода від зеленого майнінгу стає ще більш очевидною в контексті економічних трансформацій у країнах, що розвиваються. Наприклад, в Кенії, де енергія від геотермальних джерел є доступною, криптовалютий майнінг став значущим елементом національної економіки. Інвестиції у відновлювальні джерела енергії сприяють створенню нових робочих місць, розвитку технологій та залученню міжнародних інвесторів. В результаті цього процесу країна отримує не тільки економічні переваги, але й зміцнює енергетичну безпеку, зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії.

Щодо екологічної складової, важливо відзначити, що більшість таких ініціатив спрямовані на відновлення природних ресурсів і збереження екосистем. Використання відновлювальних джерел енергії для майнінгу не тільки сприяє зменшенню викидів парникових газів, але й дозволяє зберегти природні ландшафти, знижуючи рівень забруднення води та повітря. Важливою є також переорієнтація майнінгових компаній на цілі сталого розвитку (SDGs), що включають в себе такі аспекти, як зменшення бідності, сталий економічний розвиток і охорона навколишнього середовища.

Загалом, ефективність зеленого майнінгу можна оцінювати не тільки через економічні показники, такі як зростання інвестицій і створення нових робочих місць, а й через значне зменшення негативного впливу на довкілля. Перехід до використання поновлювальних джерел енергії в майнінговій індустрії має потенціал для створення більш сталих і екологічно чистих економічних систем у глобальному масштабі.

Зелені криптовалюти також відіграють ключову роль у зміні ставлення людей до екологічних проблем. Їхнє поширення спонукає суспільство замислитися над власним впливом на природу і над тим, як кожен із нас може сприяти зменшенню цього впливу. Вони стають не лише інструментом фінансових операцій, а й засобом популяризації ідей сталого розвитку, заохочуючи до відповідального використання технологій.

Водночас зелені криптовалюти надають платформу для інновацій у сфері енергозбереження та розвитку відновлюваних джерел енергії. Їх поява є не просто технологічним проривом, а значним соціально-економічним явищем, яке може суттєво змінити напрямки розвитку цифрових фінансів [4].

У 2024 році питання екологічної стійкості набули пріоритетного значення в багатьох галузях, включаючи майнінг криптовалют. Зростаючий попит на блокчейн-технології супроводжується занепокоєнням щодо їх впливу на довкілля, особливо через високе споживання енергії. Як результат, з'являється нова парадигма, відома як «зелений майнінг», яка спрямована на мінімізацію екологічних ризиків і гармонійне поєднання інновацій із врахуванням екологічної безпеки.

Сучасний стан зеленого майнінгу характеризується активним переходом компаній до використання відновлюваних джерел енергії. Сонячна, вітрова та гідроенергія дедалі частіше замінюють традиційні викопні палива, знижуючи рівень вуглецевих викидів. Крім того, розробляються нові технології та алгоритми, які дозволяють зменшити енергоспоживання майнінгових установок, роблячи їх більш ефективними.

Ще одним важливим фактором стало впровадження альтернативних моделей консенсусу, таких як «Proof of Stake», які споживають значно менше енергії порівняно з традиційним «Proof of Work». Це дає можливість блокчейнам залишатися продуктивними та безпечними без надмірного впливу на екологію.

Уряди багатьох країн активно підтримують розвиток зеленого майнінгу, впроваджуючи стимули для екологічно відповідальних компаній, включаючи податкові пільги та грантове фінансування. Одночасно регулюються екологічні стандарти, що мотивує гравців ринку переходити на більш сталий формат діяльності.

Окремої уваги заслуговує використання вторинного тепла від майнінгового обладнання. Ця технологія дозволяє перетворювати побічну енергію на корисну, наприклад, для опалення будівель чи інших промислових потреб, що підвищує загальну ефективність процесу.

Попри успіхи, зелений майнінг усе ще стикається з певними викликами. Висока вартість екологічних технологій та нерівномірний доступ до відновлюваних джерел енергії залишаються бар'єрами для масового впровадження. Проте зростаюча глобальна підтримка сталого розвитку дає підстави очікувати, що ці перешкоди поступово будуть подолані.

Таким чином, 2024 рік став переломним етапом у розвитку зеленого майнінгу, демонструючи значний прогрес у зменшенні екологічного впливу та створенні нових можливостей для більш екологічного майбутнього технологій [6].

Таким чином, зелені криптовалюти символізують важливий етап на шляху до стійкості, де технологічний прогрес гармонійно поєднується з екологічними цінностями. Вони закладають основу для більш відповідального і усвідомленого використання блокчейн-технологій, що сприятиме формуванню сталого майбутнього для нашої планети.

### **Висновок**

Ефективність зеленого майнінгу для економіки та довкілля є багатогранною і має значний потенціал у сучасній глобальній економіці, яка все більше тяжіє до сталого розвитку. У контексті стрімкого поширення криптовалют та підвищення вимог до екологічної відповідальності, зелений майнінг виступає перспективним рішенням, яке поєднує інноваційність блокчейн-технологій із принципами сталого використання природних ресурсів.

Зелений майнінг, заснований на використанні відновлюваних джерел енергії та впровадженні енергоефективних технологій, здатний суттєво зменшити екологічний вплив криптовалютної діяльності. Заміна традиційних джерел енергії на сонячну, вітрову, гідроенергетику або геотермальні джерела дозволяє знизити викиди вуглекислого газу, що сприяє збереженню кліматичної стабільності. Це, своєю чергою, допомагає запобігати глобальному потеплінню та іншим екологічним загрозам.

Економічна ефективність зеленого майнінгу проявляється через зменшення витрат на енергоресурси, особливо в регіонах із розвинутою інфраструктурою для відновлюваної енергетики. Використання відновлюваних джерел не лише знижує операційні витрати майнерів, але й сприяє диверсифікації енергетичних ринків, створенню нових робочих місць і стимулюванню інвестицій у зелені технології. Такі процеси мають позитивний вплив на розвиток національних економік, забезпечуючи стабільний потік інвестицій і технологічний прогрес.

Зелений майнінг також сприяє посиленню соціальної відповідальності компаній, що займаються криптовалютною діяльністю. У сучасному світі екологічна відповідальність стає не лише етичним обов'язком, але й важливим фактором формування позитивного іміджу компаній на ринку. Це стимулює до залучення міжнародних партнерів та інвесторів, які цінують стійкість і відповідальність у веденні бізнесу.

Проте розвиток зеленого майнінгу стикається з низкою викликів, серед яких висока вартість початкових інвестицій, потреба в технологічних інноваціях і регуляторна невизначеність у багатьох країнах. Для подолання цих бар'єрів важливо розробити сприятливу політику державної підтримки, включаючи субсидії на зелений майнінг, стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику та створення чітких правових рамок для діяльності у сфері блокчейн-технологій [8].

Ще однією важливою перевагою зеленого майнінгу є його роль у формуванні нової екологічної культури серед учасників крипторинку. Це сприяє підвищенню усвідомленості важливості збереження природних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля. Популяризація зеленого майнінгу може стати каталізатором для більш широкого застосування екологічно орієнтованих практик у різних галузях економіки.

У довгостроковій перспективі зелений майнінг має всі шанси стати ключовим напрямом розвитку криптовалютної індустрії. Поєднання економічної вигоди, екологічної відповідальності та суспільної значущості створює підґрунтя для сталого розвитку як на локальному, так і на глобальному рівнях. Водночас інститути влади, приватний сектор та наукове співтовариство повинні активно співпрацювати для подолання існуючих бар'єрів та реалізації потенціалу зеленого майнінгу.

Отже, зелений майнінг – це не лише технологічний прорив, але й інструмент формування нової парадигми розвитку цифрової економіки, яка враховує інтереси довкілля та майбутніх поколінь. Його ефективність може стати важливим чинником збереження природних ресурсів, економічного зростання та забезпечення стабільності у світі, що дедалі більше орієнтується на стійкість та інновації.

#### Список використаних джерел

1. Khavanova I. A. Green Cryptocurrency Mining: Economic and Legal Opportunities and Risks. *Economics, taxes & law*. 2023. P. 153–162. URL: <https://doi.org/10.26794/1999-849x-2023-16-3-153-162>
2. Майнінг криптовалют: екологічні виклики та рішення. *Обмінний пункт електронних валют*. URL: <https://anyexchange.best/ua/ekologicheskoe-vozdystvie-mayninga-kriptoalyut-i-ustoychivye-resheniya/>.
3. Що таке зелені криптовалюти - найзеленіша криптовалюта 2024 • Блог Cryptomus. *Cryptomus Cryptocurrency Platform – One Account, Endless Possibilities*. URL: <https://cryptomus.com/uk/blog/what-are-green-cryptocurrencies-most-eco-friendly-crypto-2024>.
4. Мазаракі А., Волосович С. Майнінг криптовалют в умовах критичних трансформаційних процесів. *Herald of Kyiv National University of Trade and Economics*. 2022. Т. 142, № 2. С. 4–20. URL: [https://doi.org/10.31617/visnik.knute.2022\(142\)01](https://doi.org/10.31617/visnik.knute.2022(142)01)
5. Шестак А. О. Економіко-аналітичне обґрунтування створення майнінг-ферми в сучасних умовах : thesis. 2020. URL: <http://ir.stu.cn.ua/123456789/20831>
6. Dankevych A., Malinov V. CRYPTOCURRENCY MINING USING BIOENERGY AS AN INNOVATIVE APPROACH TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF AGROINDUSTRIAL PROCESSING ENTERPRISES. *International scientific journal "Internauka". Series: "Economic Sciences"*. 2023. № 8(76). URL: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-8-9169>
7. Загвойська Л. Д. Штучний інтелект і блокчейн у бізнесі 4.0: можливості та виклики для сталого розвитку / Л. Д. Загвойська, І. П. Соловій, О. Р. Пелюх // *Грааль науки*. – 2025. – Вип. 48. – С. 140–150. – DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.12.2024>.
8. Cherep A. Інформаційні та інноваційні технології як чинник підвищення ефективності цифрової економіки та бізнесу в умовах глобалізації 4.0 / A. Cherep, V. Voronkova, L. F. Muts, A. Fursin // *Humanities Studies*. – 2019. – № 1 (78). – С. 170–181.