

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРИПТОАКТИВІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ БЛОКЧЕЙН НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Горобей М.С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
marina.gorobey@gmail.com

Досліджено вплив блокчейн-рішень на навколишнє природне середовище в умовах зростаючого розвитку ринку криптоактивів. Blockchain наразі є технологією на ранній стадії розробки, тому багато гравців ринку вивчають її потенційні застосування. Очевидно, що криптовалюти залишаються найбільш зрілим і досить відомим застосуванням, пропонуючи потенціал для трансформаційних змін у міжнародній фінансовій системі. Криптоактиви, такі як біткойни, пов'язані зі значним викидом вуглецю, оскільки споживають величезну кількість енергії, затрати якої конкурують з зенергоспоживанням деяких майнінг криптовалютів та призводить до викидів парникових газів, що впливає на кліматичні зміни.

Потенційні катастрофічні наслідки зміни клімату надзвичайно важливі для людства, оскільки вони впливають на землекористування, підвищення рівня моря, засухи та хвилі спеки, зміни в моделях опадів, власне, на глобальне суспільство в цілому з огляду на зворотний зв'язок із такими природними явищами на Землі.

Зважаючи на глобальний характер технологій блокчейн та швидко зростаючі обсяги майнінгу криптовалют, дослідження щодо їх негативного впливу на довкілля та потенційного внеску у глобальні зміни клімату є важливою темою для досліджень світової наукової спільноти.

Зазначено, що технології блокчейну, у тому числі й криптоактиви, потребують використання електроенергії для забезпечення усіх функцій блокчейн-мережі. Операції з видобутку криптоактивів також впливають на навколишнє середовище спричиненим локальним шумом від майнінгу, а також забруднення повітря та інші фактори внаслідок будь-якого прямого використання електроенергії, що отримується за рахунок спалювання викопного палива. Загрозою для довкілля є й електронні відходи.

Для розробки нових підходів оптимального використання ресурсів необхідний ретельний моніторинг, подальші наукові дослідження галузі та оцінка стійкості на глобальному, європейському та місцевому рівнях. *Ключові слова:* технологія блокчейн; блокчейн рішення; криптоактиви; цифрові активи; криптовалюти; енергоспоживання; зміна клімату; практики сталого розвитку; вплив на довкілля.

Study of the impact of cryptoassets based on blockchain technology on the environment. Gorobei M.

This paper explores the growing environmental impact of blockchain solutions due to the rapid development of the crypto-asset market.

Blockchain is currently an early stage technology and many market players are exploring its potential applications. Clearly, cryptocurrencies remain the most mature and well-known application, offering the potential for transformative change in the international financial system.

Crypto-assets such as Bitcoin are associated with a significant carbon footprint as they consume huge amounts of energy, rivaling the energy consumption of some countries. Crypto asset mining leads to greenhouse gas emissions and affects climate change.

The potentially catastrophic effects of climate change are of great interest to humanity because they affect land use, sea level rise, droughts and heat waves, changes in precipitation patterns, and global society in general through feedback from these natural Earth cycles.

Given the global nature of blockchain technologies and the rapidly growing mining volumes of cryptocurrencies, concerns about their potential contribution to global climate change are an important topic for research in the global scientific community.

Based on the theoretical analysis, it is proposed to consider the definition of negative impacts on the environment of blockchain technologies and cryptocurrency mining.

It has been established that blockchain technologies, including cryptoassets, require electricity to support all functions of the blockchain network. Crypto asset mining operations also affect the environment through local mining noise, as well as air pollution and other factors from any direct use of fossil fuel-fired electricity. Electronic waste is also a growing threat to the environment.

The development of new approaches to the optimal use of resources requires careful monitoring, further scientific research of the sector and assessment of sustainability at the global, European and local levels. *Key words:* blockchain technology; blockchain solutions; crypto assets; digital assets; cryptocurrencies; energy consumption; climate change; sustainable development practices; impact on the environment.

Актуальність дослідження. Використання блокчейн-технологій має серйозні перспективи як для бізнесу, так і для світу загалом. Найбільші корпорації: Microsoft, IBM, Visa тощо, активно вивчають та розвивають такі технології. Ринки криптоактивів швидко розвиваються і наприкінці 2022 року досягли

850 мільярдів доларів США, але інфраструктура, що підтримує основні криптоактиви, такі як біткойни, споживає величезну кількість енергії. Стрімке зростання навантажує енергетичні мережі, підвищує роздрібні тарифи на електроенергію, збільшуючи загальні викиди вуглецю та місцеве забруднення повітря.

Важливість дискусії зростає, оскільки спостерігається інституціоналізація криптоактивів, таких як біткойни, що стає «мейнстрімом». Інституційні інвестори дедалі активніше беруть участь у ринках таких криптоактивів, а їхні ризики сприяють пов'язаним ризикам змін клімату. З огляду на те, що майнінг криптоактивів є енергоємним процесом і швидко зростає в обсягах, його потенційний внесок у глобальну зміну клімату є важливою темою для досліджень світовою науковою спільнотою.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Рівні CO₂ неухильно зростають, і хоча країни в усьому світі активно рухаються до цілей сталого розвитку, запропонованих під час Паризької угоди в 2015 році, ще далеко до досягнення сталого режиму глобальної роботи. Зростання популярності криптовалют після появи біткойнів у 2009 році супроводжувалося зростанням викидів парникових газів та високим споживанням електроенергії.

Новизна. Наукова новизна отриманих результатів полягає у виокремленні та групуванні даних та аналізі, подальшому розвитку теоретичних положень щодо розуміння негативних екологічних впливів технологій блокчейн та криптоактивів, що має важливе значення для оцінки наслідків, які потенційно суттєві та трансформаційні для суспільства, економіки та довкілля.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується озна-

чена стаття. Технологія Blockchain є відносно новою концепцією з високим потенціалом. Станом на сьогодні недостатньо розроблені теоретичні засади блокчейну. Зокрема, немає чіткого трактування його екологічних впливів, лише часткового висвітлені еволюційні напрямки його економічної сутності, становлення та розвитку, не повною мірою досліджені різноманітні механізми консенсусу, алгоритми роботи криптоактивів, не окреслені можливі ризики і переваги впровадження таких технологій тощо. Крім того, вчені здебільшого зосереджені розглядом зазначеної технології щодо фінансової та правової сфери, що значно звужує сегмент дослідження. Зважаючи на це, виникає потреба у проведенні додаткових, поглиблених досліджень щодо імплементації таких технологій, оцінки можливих впливів на навколишнє середовище та ризики зміни клімату у поєднанні з негативними зовнішніми ефектами, що поширюються.

Викладення основного матеріалу. Оскільки світ дедалі більше рухається в онлайн середовище, час паперових документів потроху спливає. Технології блокчейн зацікавили європейські державні установи. Наприклад, Європейська комісія вважає блокчейн «трансформатором на наступні десятиліття», і тому «прагне позиціонувати Європу в авангарді блокчейн-інновацій та поглинання» [1]. Європейська комісія нещодавно виступила співініціатором кількох ініціатив для підтримки розробки, моніторингу та стандартизації технологій блокчейн,



Рис. 1. Основні типи механізмів консенсусу

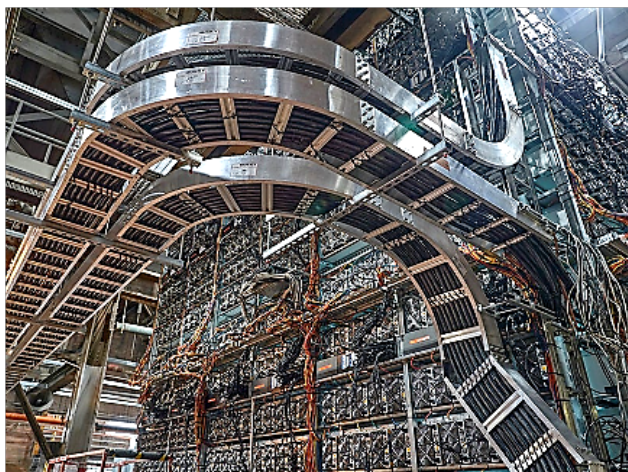


Рис. 2. Центр майнінгу криптовалюти біля озера Сенека, Нью-Йорк

а саме: Європейське партнерство блокчейнів [2] та Європейська обсерваторія та форум блокчейнів [3].

Технології блокчейну, включаючи криптоактиви, потребують електроенергії для всіх етапів роботи мережі. Мережі криптоактивів використовують електроенергію для виконання чотирьох основних функцій: зберігання даних, обчислення, охолодження та передачі даних. Масштаб і джерела електроенергії, що використовується обчислювальними пристроями, залежать від технології, яку криптомережа використовує для забезпечення безпеки та дійсності, або від її механізму консенсусу, які використовуються щоб визначити стан даних блокчейну та замінюють централізовані органи влади або сторону реєстраторів у централізованих системах. Зокрема, нові блоки додаються лише до ланцюга, якщо учасники мережі блокчейн досягли консенсусу щодо дійсності операції та їх послідовності.

Механізми консенсусу стимулюють і дозволяють учасникам блокчейн-мережі (вузлам) досягти спільної згоди, не дозволяючи учасникам діяти зловмисно або ставлячи власні інтереси вище інтересів мережі (рис. 1).

Ключовим компонентом протоколів блокчейну є механізм консенсусу. Proof-of-Work є найбільш наочним прикладом консенсусного алгоритму, який стимулює збільшення споживання електроенергії. Незважаючи на прогрес у альтернативних джерелах генерації криптовалюти, майнінг доказів роботи Proof-of-Work не демонструє жодних ознак уповільнення.

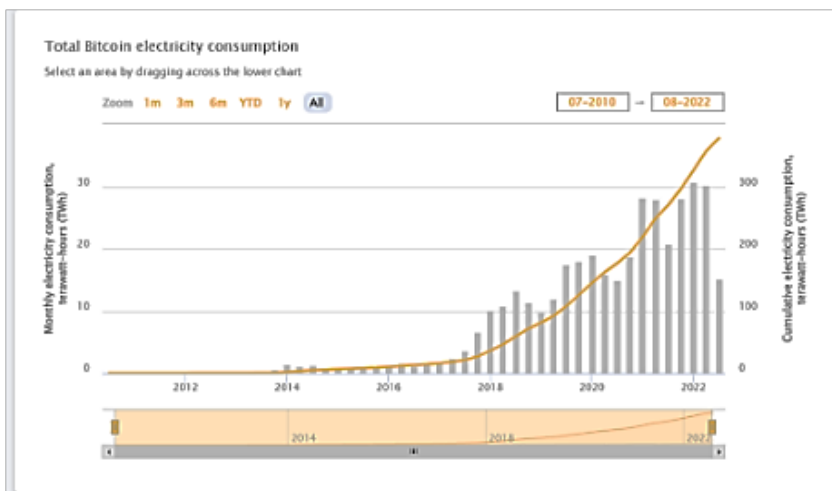


Рис. 3. Загальне споживання електроенергії Bitcoin
Дані взято з Джерело: [4]

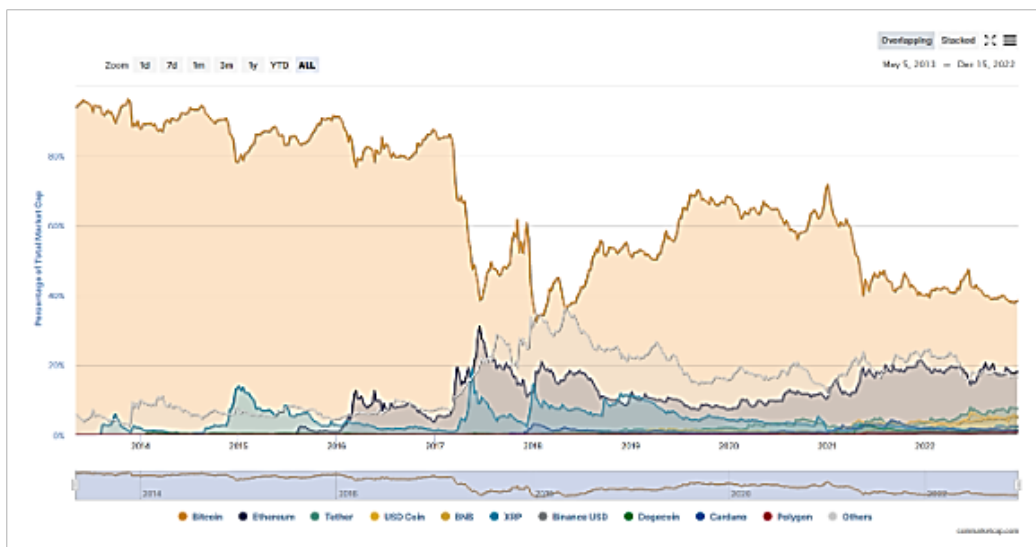


Рис. 4. Основні криптоактиви за відсотком загальної ринкової капіталізації
Дані взято з Джерело: [5]

Процес майнінгу фактично тягне за собою мільйони обчислювальних машин, які змагаються, щоб вирішити складну задачу (рис. 2).

Наприклад, в алгоритмі біткойна комп'ютер або майнінг-машина, які успішно вирішують проблему, винагороджуються біткойнами (і функціонально перевіряють блокчейн). Поки винагорода достатньо висока (тобто ціна біткойна достатньо висока), майнери намагатимуться використовувати більше швидших машин для майнінгу, щоб підвищити свої шанси отримати таку винагороду. Оскільки більше машин для майнінгу вступають у змагання, складність обчислювальної задачі стає все більшою, а електроенергія, необхідна для перемоги, зростає (рис. 3).

Оскільки Bitcoin був першим криптоактивом, він залишився найбільшим за ринковою капіталізацією, тому він домінує на ринку (рис. 4).

Біткойн, найбільша у світі криптовалюта, наразі споживає приблизно 150 терават-годин електроенергії на рік [4] – більше, ніж уся країна Аргентина з населенням 45 млн. (рис. 5).

Зі зростанням ціни на біткойн зростає і споживання електроенергії (рис. 6)

У глобальному масштабі енергоспоживання біткойна має жахливі наслідки для зміни клімату та досягнення цілей Паризької угоди, оскільки воно перетворюється на приблизно 22–22,9 мільйона метричних тонн викидів CO₂ щороку, що еквівалентно викидам CO₂ від використання енергії від 2,6 до 2,7 мільярдів будинків протягом одного року.

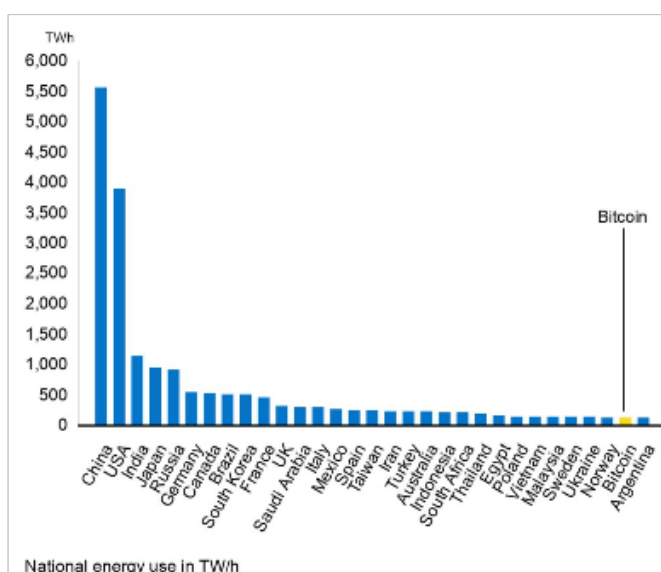


Рис. 5. Енергоспоживання біткойнів відносно різних країн
Дані взято з Джерело: [4]

Вплив майнінгу біткойнів на зміну клімату є глобальним (рис. 7).

Майнінг і джерела викидів переважно централізовані в Китаї, а користувачі/власники переважно з розвинуеного світу.

Апаратне забезпечення теж накопичується. Технології блокчейн вимагають різних комбінацій обладнання: обчислювального, комунікаційного та для зберігання разом з іншими важливими компонентами (наприклад, блоки живлення, системи охолодження

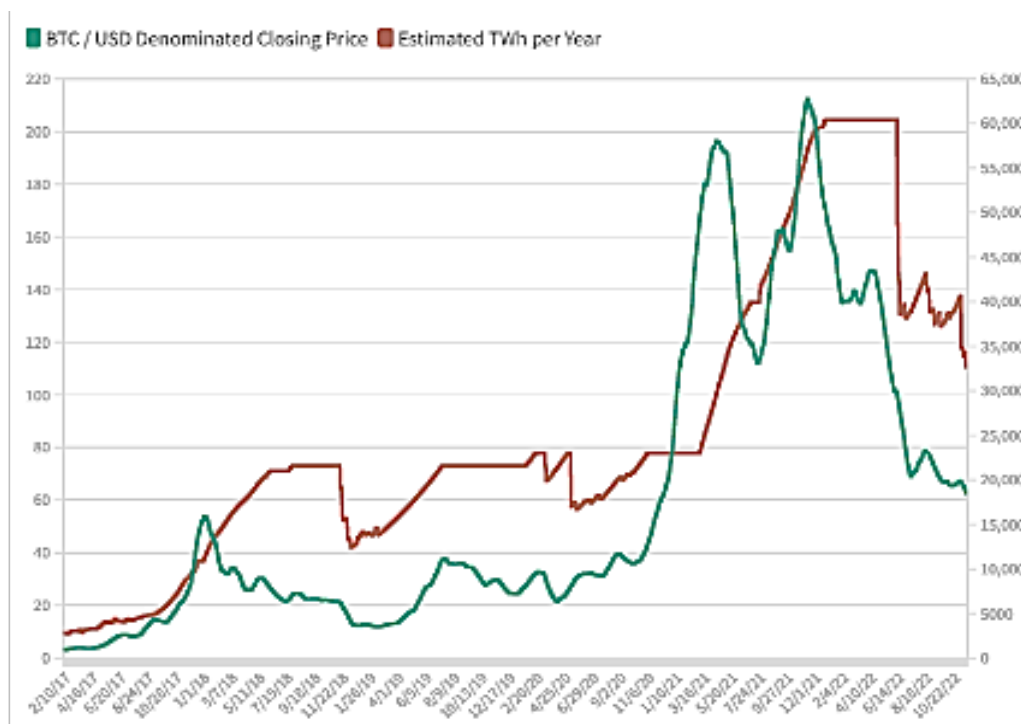


Рис. 6. Індекс енергоспоживання біткойна

Графік побудовано автором на основі статистичних даних з джерел [4; 6]

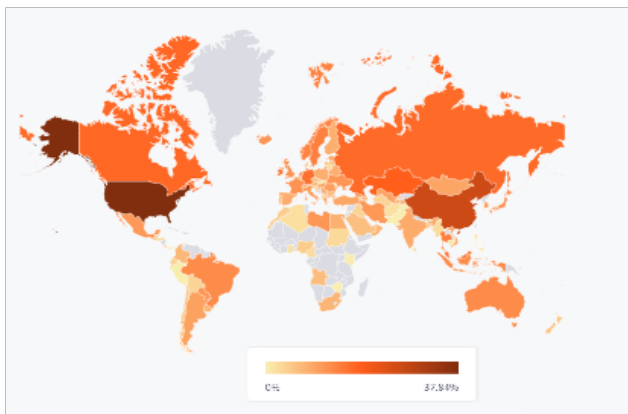


Рис. 7. Карта майнінгу Bitcoin

обчислювальних центрів), які необхідні для надання послуг системи блокчейн, що спричиняє високий оборот і нову електронну проблему відходів. Електронні відходи становлять зростаючу загрозу для довкілля, починаючи від токсичних хімікатів і важких металів, що вимиваються в ґрунт, закінчуючи забрудненням повітря та води, спричиненим неправильною переробкою. Вони є небезпечними та здебільшого утилізуються в країнах, що розвиваються.

Приблизно кожні півтора року обчислювальна потужність обладнання для майнінгу подвоюється, що робить старіші машини застарілими. За оцінками науковців, мережа біткойн генерує 11,5 кілотонн електронних відходів щороку, що посилює і без того величезну проблему електронних відходів. На початку 2021 року лише біткойн генерував більше електронних відходів, ніж багато країн середнього розміру, як, наприклад, Нідерланди [7].

Без стандартів та забезпечення належної утилізації електронні відходи можуть спричинити забруднення повітря та води, піддавати працівників впливу токсичних речовин, і завдати шкоди здоров'ю населення. Свинець і ртуть є найпоширенішими токсичними елементами в електронних відходах.

Електроенергія, вироблена електростанціями для майнінгу криптоактивів і для всіх видів використання електроенергії, може завдати шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини через забруднення повітря від спалювання викопного палива, забору води та забруднення термальної води

від охолоджувальних електростанцій, інших забруднень води, твердих відходів.

Майнінгові комп'ютери з повітряним охолодженням містять високошвидкісні вентилятори, які можуть створювати шумове забруднення.

Висновки. Технології блокчейну, включаючи криптоактиви, потребують електроенергії для виробництва, володіння та обміну. Ключовим компонентом протоколів блокчейну є механізм консенсусу.

Прагнучи пом'якшити вплив енергоспоживання криптоактивів, багато творців та гравців індустрії шукають альтернативи та постійно вдосконалюють галузь. Хоча в даний час існують більш ефективні алгоритми, які використовуються в різних криптовалютних проектах, їхній вплив на навколишнє середовище у більшому масштабі, коли є набагато більш широке впровадження, не досліджувався.

Враховуючи глобальний характер цифрових активів, їх вплив на навколишнє середовище не можна знизити без зусиль, що застосовуються лише на національному рівні в деяких країнах. Потрібен певний рівень транскордонної координації. За відсутності такої транскордонної координації виникають негативні зовнішні ефекти переносяться з однієї географії в іншу.

Майнінг криптовалют, таких як біткойн, тягне за собою величезний вуглецевий слід і суперечить будь-яким екологічним цілям. На тлі зростання цін на енергоносії та дефіциту, вимога використання дефіцитної електроенергії для реальної економіки, а не для видобутку біткойнів, є виправданою. Однак, оскільки криптовалюта пропонує загальноновизнані переваги, а також соціальні переваги, можна з упевненістю припустити, що біткойн залишиться.

Керуючись такою гіпотезою, варто дослідити, як майнінг біткойнів може сприяти переходу до більш стійкої економічної моделі у майбутньому, а також які дії з іншими криптоактивами можуть дати позитивні екологічні результати. Потрібні більш надійні дані щодо поточного та майбутнього споживання енергії блокчейном, що також вимагає більш суворих методологій та альтернативних сценаріїв. Для розробки нових підходів оптимального використання ресурсів необхідний ретельний моніторинг, подальші наукові дослідження галузі та оцінка стійкості на глобальному, європейському та місцевому рівнях.

Література

1. ЄК, 2019a ЄС, 2019a, Blockchain technologies. URL: (<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blockchain-technologies>) (дата звернення: січень 2023).
2. ЄК, 2019b ЄС, 2019b, European countries join Blockchain Partnership. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-countries-join-blockchain-partnership> (дата звернення: січень 2023)..
3. ЄК, 2018 ЄС, 2018, European Commission launches the EU Blockchain Observatory and Forum. URL: http://europa.eu/rapid-press-release_IP-18-521_en.htm (дата звернення: січень 2023).
4. Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI). URL: <https://ccaf.io/cbeci/index> (дата звернення: січень 2023).
5. Global Cryptocurrency Charts. URL <https://coinmarketcap.com/charts/> (дата звернення: січень 2023).
6. Crypto data transparent and accessible. URL: <https://coinmetrics.io/> (дата звернення: січень 2023).
7. Alex de Vries, Christian Stoll, Bitcoin's growing e-waste problem, Resources, Conservation and Recycling, Volume 175, 2021, 105901, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>