

УДК 336.74:338.2:628.5

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-4263/2024-3-18>**Бичков К.В.***аспірант кафедри економіки  
Класичного приватного університету***Bychkov K.V.***Graduate Student at the Department of Economics  
Classic Private University*

## РИЗИКИ СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ФІНАНСОВИХ АКТИВІВ

### RISKS OF CREATING VIRTUAL FINANCIAL ASSETS

#### АНОТАЦІЯ

З 2009 року в Україні, як і в багатьох країнах світу, відбувається процес створення віртуальних фінансових активів, зокрема біткоїнів, і масштаби цієї діяльності зростають майже в геометричній прогресії. Відсутність державного регулювання створює проблему відсутності обліку та контролю тих негативних впливів на екологію та економіку, які виникають у процесі створення віртуальних фінансових активів, тобто майнінгу. У роботі проаналізовано висновки вітчизняних та зарубіжних науковців щодо ризиків, притаманних створенню віртуальних фінансових активів, основними з яких є значне споживання електроенергії, виробленої з невідновлюваних джерел, викиди вуглецю та тепла, використання чистої води та створення електронних відходів. Визначено три етапи гірничодобувної діяльності та визначено проблеми зниження ризиків, притаманні кожному етапу. Перший етап є вирішальним з точки зору превентивних дій щодо ризиків, які виникнуть на наступному етапі. На цьому етапі необхідно визначитися з розташуванням обладнання, типом обладнання, яке буде використовуватися в процесі видобутку. На нашу думку, надання майнінгу унікального коду в КВЕД та запровадження ліцензування зазначеної діяльності є обов'язковими діями держави на шляху до зниження ризиків, пов'язаних зі створенням віртуальних фінансових активів. Ліцензійні умови повинні містити вимоги щодо мінімальної енергоефективності, встановлення обмежень на використання електроенергії та Інтернет-трафіку, а також зобов'язання щодо безпечної утилізації електронних відходів. На другому етапі важливо вибрати консенсусний механізм Proof-of-Stake, який дозволить економити електроенергію. Третій етап передбачає надання інформації про тип і кількість ресурсів, які були використані під час видобутку, а також про кількість вуглецевих і теплових викидів під час виходу створених активів на ринок. Це дозволить інвесторам приймати зважені рішення з урахуванням їхнього ставлення до екологічної безпеки. Обґрунтовано необхідність активних дій держави щодо визнання видобування корисних копалин окремим видом діяльності з включенням його до КВЕД та запровадження ліцензування з включенням до Ліцензійних умов вимог щодо зниження ризиків у діяльності шахтарів.

**Ключові слова:** майнінг, споживання електроенергії, викиди вуглецю, електронні відходи, "зелені" криптовалюти, екологічні ризики, ліцензування діяльності

#### ANNOTATION

Since 2009, the process of creating virtual financial assets, in particular bitcoin, has been taking place in Ukraine, as in many countries of the world, and the scale of this activity is growing almost exponentially. The lack of state regulation creates the problem of lack of accounting and control of those negative effects on ecology and economy that arise in the process of creating virtual financial assets, i.e. mining. The work analyzes the findings of domestic and foreign scientists regarding the risks inherent in the creation of virtual financial assets, the main of which are the significant consumption of electricity produced from non-renewable sources, carbon and heat emissions, the use of clean water and the creation of electronic waste. Three stages in mining activity are defined and

the problems of risk reduction inherent in each stage are defined. The first stage is decisive in terms of preventive actions regarding the risks that will arise in the next stage. At this stage, it is necessary to decide on the location of the equipment, the type of equipment that will be used in the mining process. In our opinion, providing mining with a unique code in KVED and introducing licensing of the specified activity are mandatory actions of the state on the way to reducing the risks associated with the creation of virtual financial assets. Licensing conditions must contain requirements for minimum energy efficiency, setting limits on the use of electricity and Internet traffic, and obligations regarding the safe disposal of electronic waste. At the second stage, it is important to choose the Proof-of-Stake consensus mechanism, which will allow you to save electricity. The third stage involves providing information on the type and amount of resources that were used during mining, as well as on the amount of carbon and heat emissions, during the release of the created assets to the market. This will enable investors to make informed decisions taking into account their attitude to environmental safety. The need for active actions by the state regarding the recognition of mining as a separate type of activity with its inclusion in the KVED and the introduction of licensing with the inclusion of requirements for reducing risks in miners' activities in the licensing conditions is substantiated.

**Keywords:** mining, electricity consumption, carbon emissions, e-waste, "green" cryptocurrencies, environmental risks, activity licensing.

**Постановка проблеми.** Поняття "віртуальні фінансові активи" є відносно новим як в наукових дослідженнях, так і в практиці державного регулювання економічної діяльності. Згідно Закону України "Про віртуальні активи" [1] "віртуальний актив – нематеріальне благо, що є об'єктом цивільних прав, має вартість та виражене сукупністю даних в електронній формі. Існування та оборотоздатність віртуального активу забезпечується системою забезпечення обороту віртуальних активів. Віртуальний актив може посвідчувати майнові права, зокрема права вимоги на інші об'єкти цивільних прав". Одним з видів незабезпечених віртуальних активів є криптовалюта, яка створюється в процесі майнінгу, проте поняття "криптоактив", "криптовалюта", "майнінг" та "біткоїн" у вітчизняному законодавстві на сьогодні відсутні. Починаючи з 2009 року процес створення крипто активів, зокрема біткоїну, відбувається в Україні, як і в багатьох країнах світу, і масштаб цієї діяльності зростає майже експоненційно. Відсутність державного регулювання породжує проблему відсутності обліку та контролю

тих негативних впливів на екологію та економіку, які виникають в процесі створення віртуальних фінансових активів, тобто майнінгу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемам, які виникають при здійсненні майнінгу, присвячено недостатньо уваги вітчизняними вченими, поодинокі публікації висвітлюють окремі аспекти, не відповідаючи вимогам комплексності та системності [2; 5–8]. Більш ґрунтовно аналізуються питання негативного впливу на зовнішнє середовище процесу майнінгу в працях зарубіжних вчених [9–15], в яких також пропонуються шляхи зменшення означеного впливу.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Залишається невирішеною проблема комплексного аналізу ризиків на всіх етапах процесу майнінгу та розроблення методів регулювання, які спрямовані на зменшення означених ризиків.

Метою статті є проведення поглибленого аналізу ризиків, які виникають при створенні віртуальних фінансових активів, тобто в процесі майнінгу, та обґрунтування заходів державного регулювання з метою зменшення негативного впливу таких ризиків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В процесі майнінгу криптовалют виникає ціла низка ризиків, більшість з яких відносяться до негативного впливу на навколишнє середовище. Вітчизняні науковці недостатньо уваги приділяють цьому аспекту і навіть не розглядають необхідність державного регулювання з метою зменшення впливу майнінгу на екологію.

Так на сайті криптовалютної біржі BitGet зазначається, що особливістю майнінгу Bitcoin є його залежність від викопного палива, тобто від дешевої електроенергії, значна частина якої виробляється на вугільних електростанціях, які є основними джерелами викидів парникових газів [2].

Для оцінювання обсягу споживання електроенергії використовують Кембриджський індекс споживання електроенергії в біткойнах (СВЕСІ) [3], який надає актуальні оцінки щоденного попиту на електроенергію в біткойнах і річну оцінку споживання електроенергії. Застосовувана методологія базується на гібридному підході зверху вниз, спочатку розробленому Марком Бевандом, створюючи кошик реального апаратного забезпечення з основним припущенням, що майнінгові вузли (“майнери”) є раціональними економічними агентами, які використовують лише прибуткове обладнання.

Кембриджський індекс споживання електроенергії Bitcoin (СВЕСІ) надає актуальну оцінку щоденного навантаження електроенергії на мережу Bitcoin. З огляду на те, що фактичну потребу в електроенергії неможливо визначити через децентралізований характер мережі, зроблено кілька припущень, включаючи гіпотетичні оцінки нижньої (підлоги) і верхньої межі (стелі). Ці дві межі охоплюють найкращу оцінку, точнішу вказівку фактичної потреби в електроенергії.

Оцінка нижньої межі – це теоретичний мінімальний загальний попит на електроенергію, заснований на найкращому припущенні, що всі майнери завжди використовують найбільш енергоефективне обладнання. Оцінка верхньої межі – це теоретична максимальна загальна потреба в електроенергії, заснована на найгіршому припущенні про те, що всі майнери завжди використовують найменш енергоефективне обладнання, доки експлуатація обладнання залишається прибутковою з точки зору витрат на електроенергію. Найкраща оцінка базується на більш реалістичному припущенні, що майнери використовують комбінацію прибуткового обладнання.

Цільова сторінка СВЕСІ відображає два вимірювання для кожного типу оцінки. Перша цифра стосується загальної електроенергії, споживаної мережею Bitcoin, вираженої в гігаватах (ГВт). Ця цифра, яка оновлюється кожні 24 години, вказує на швидкість, з якою майнери біткойнів наразі споживають електроенергію, описуючи існуючий попит або навантаження.

Друга цифра стосується розрахункового річного споживання електроенергії мережею біткойн у терават-годинах (ТВт·год). Це річне вимірювання передбачає постійне споживання електроенергії з вищезазначеною швидкістю протягом одного року (рис. 1).

Порівняння оцінки річного споживання біткойну в 157,34 ТВт·год з річним споживанням електроенергії в Україні 154,83 ТВт·год в 2021 році дає змогу оцінити масштаб цього показника.

Крім того, для майнінгу Bitcoin використовується спеціалізоване обладнання, зокрема, спеціалізовані комп'ютери та системи охолодження. Виробництво цього обладнання, а також його утилізація мають значний негативний вплив на навколишнє середовище [2].

На сайті [4] наведено інформацію щодо обсягу електронних відходів при виробництві біткойна – 34,94 кТ та використання чистої води – 2,715 Гл, що дорівнює загальному використанню води в Швейцарії.

Дмитренко Т. Л. та Волкова В. М. до ризиків майнінгу відносять те, що невирішеним питанням наразі є відношення цього виду діяльності до певної класифікації видів діяльності (КВЕД), установленого законодавством, оскільки в чинній Класифікації майнінгу прямо не передбачено, тобто не має можливості збирати статистичну інформацію щодо обсягів такої діяльності [5]. Відкритим є також питання щодо необхідності ліцензування майнінгу.

В ґрунтовному дослідженні Мазаракі А. та Волосович С. виокремлюють енергетичні та екологічні загрози, які виникають в процесі майнінгу [6]. При цьому зазначається, що “на прийняття рішення про здійснення підприємницької діяльності з майнінгу криптовалют впливають технічні, економічні, ринкові, юридичні, природно-кліматичні умови”.

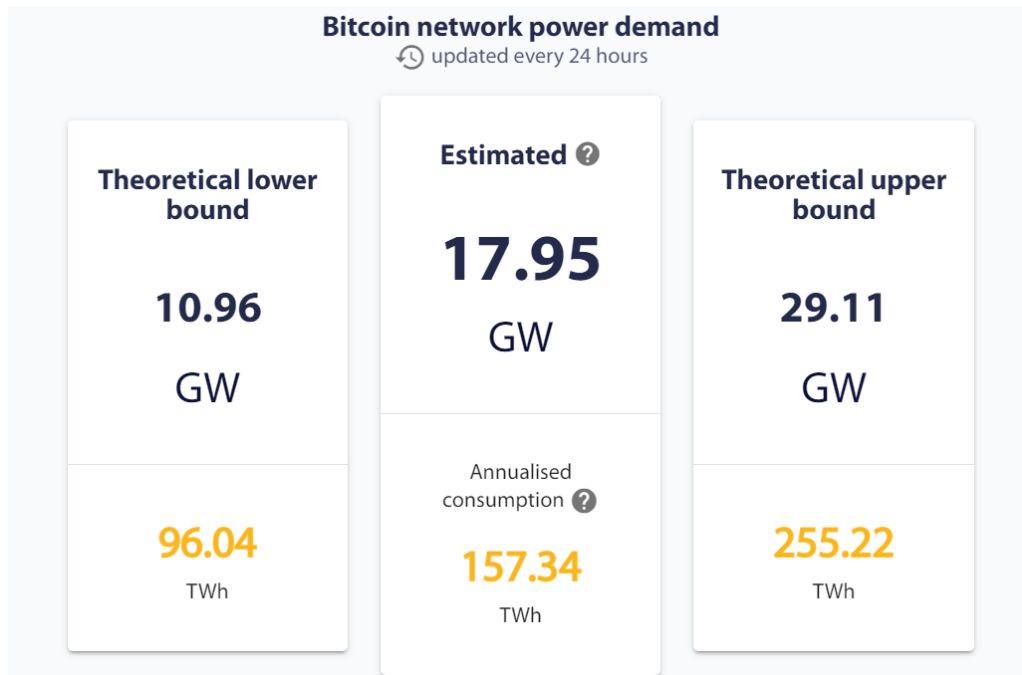


Рисунок 1. Представлення інформації на сайті

Джерело: [2]

Стосовно негативних аспектів майнінгу приділяється увага підвищенню споживання електроенергії, при виробництві якої з не відновлюваних джерел збільшуються викиди вуглецю, створення небезпечних електронних відходів внаслідок частого оновлення обчислювальних блоків. Проблемою є також виділення обладнанням великої кількості тепла, на охолодження теж використовується додаткова енергія і обладнання. Підкреслюючи, що регулювання діяльності майнерів не відбувається як в Україні, так і в більшості країн світу [7], що не дає змоги оцінювати шкоду та встановлювати екологічні штрафи, автори [6] пропонують три сценарії розвитку майнінгу криптовалют у майбутньому в контексті його регулювання: оптимістичний, песимістичний і нейтральний. Оптимістичний сценарій базується на можливості використання майнінгу для нейтралізації профіциту електроенергії при збалансованні енергетичних мереж. Реалізація песимістичного сценарію означає повну заборону майнінгу на території країни. За нейтральним сценарієм пропонується введення обмежень на діяльність з майнінгу з метою зменшення шкоди як для економіки, так і для екології. Зокрема, на думку авторів, “підґрунтям для реалізації нейтрального сценарію стане визначення майнінгу як виду економічної діяльності у Класифікаторі видів економічної діяльності” [6, с. 15].

Проте питання класифікації майнінгу і необхідності віднесення його до видів діяльності, які потребують ліцензування, є дискусійним. Так автори [8] вважають, що створення криптовалют без надання послуг не потребує проходження дозвільних процедур. При цьому вони пропонують віднести майнінг до класу

63.11 “Оброблення даних, розміщення інформації на веб-вузлах і пов’язана з ними діяльність” КВЕД.

Значну увагу екологічним і соціальним наслідкам виробництва криптовалют приділяють зарубіжні вчені, які не тільки констатують наявність ризиків, але і пропонують шляхи їх зменшення.

Стосовно споживання електроенергії та викидів вуглецю автори [9] виділяють чотири проблеми і пропонують для кожної проблеми рішення, а саме:

- вибір механізму консенсусу: Proof-of-Work та Proof-of-Stake це два основні консенсус механізми, які використовують криптовалюти для перевірки нових транзакцій, додавання їх до блокчейну, при цьому Proof-of-Work використовує значно більше електроенергії, а Proof-of-Stake вважається енергоощадливим;

- джерела енергії: виробництво електроенергії з викопного палива необхідно замінювати “зеленими” видами енергії;

- вибір обладнання для майнінгу: має орієнтуватись не тільки на потужність, але і на енергоефективність, технології відведення тепла та можливість подальшого використання або утилізації;

- надмірне використання інтернет-трафіку: використання технологій, які заощаджують трафік.

Необхідно відмітити, що мотивація у вирішенні означених проблем належить не регуляторним органам країн, а громадськості, так підвищена увага громадськості до глобального потепління змушує криптоінвесторів віддавати перевагу енергоефективним криптовалютам, ніж енергоємним [10].

Для підтвердження цього автори [11] пропонують використовувати індекс кліматичного ризику щодо дослідження кліматичних ризиків, пов'язаних зі стихійними лихами (урагани, землетруси та лісові пожежі) і глобальним потеплінням. Ці кліматичні катаклізми, як екзогенні шоки, демонструють зростаючий і значний вплив на зміни в поведінці ринку. Політики та учасники ринку дедалі більше стурбовані потенційними наслідками зміни клімату для фінансових ринків. Тому актуальним є визначення впливу екологічних новин на ринок криптовалют, для чого автори запропонували використовувати індекс уваги до навколишнього середовища криптовалюти, на основі якого виявили, що екологічні новини суттєво впливають на настрої інвесторів, тим самим слугуючи посередником у формуванні ефективності акцій зеленої галузі. Розробники означеного індексу [12] – індексу уваги криптовалюти до навколишнього середовища (ICEA) на основі опрацювання великої кількості новин про екологічні проблеми криптовалюти – тобто >778,2 мільйона новин із бази даних LexisNexis News & Business дослідили зв'язок цього індексу з індексами UCRY, індексом волатильності (VIX), сировою нафтою Brent (BCO) і біткойнами. ICEA має значний негативний зв'язок із невизначеністю глобальної економічної політики (GlobalEPU) і невизначеністю глобальної температури (GTU). Більше того, ICEA має суттєво позитивний зв'язок із промисловим виробництвом (IP) у короткостроковій перспективі, у той час як має суттєво негативний зв'язок у довгостроковій перспективі.

При цьому емпіричне дослідження зв'язку між чистою енергією, біткойнами, фондовим ринком і сировою нафтою [13] виявило, що їхній зв'язок значно посилюється під час криз, таких як великий криптовалютний крах у 2018 році та пандемія COVID-19 у 2020 році.

Виникає питання, наскільки інвестори мають можливість впливати на зменшення шкідливості криптовалют, формуючі свої портфелі, чи можуть “зелені” криптовалюти забезпечити фінансову ефективність.

Автори [14] пропонують поділяти криптовалюту на “зелені” та звичайні, для чого розробили чотирьох етапну процедуру із застосуванням математичних моделей. В дослідженні доведено, що інвестиційний портфель, сформований з “зелених” криптовалют не поступається ефективністю альтернативним інвестиційним портфелям, проте його перевагою є екологічна безпека. Cardano і Tezos визначені як “зелені” криптовалюти, які пропонують інвесторам найбільше переваг диверсифікації, за ними йдуть EOS, Steller і IOTA.

Ґрунтовний аналіз проблеми електронних відходів здійснено авторами [15]. Електронні відходи – це відходи, які утворені в результаті утилізації електричного або електронного обладнання, вони становлять зростаючу загрозу

для навколишнього середовища та включають проблеми від вимивання токсичних хімікатів і важких металів у ґрунт до забруднення повітря та води, викликані неправильною переробкою.

Більшість досліджень про вплив біткойнів (та подібних криптовалют) на навколишнє середовище зосереджені на попиті на енергію та викидах вуглекислого газу, і досі ігнорувалось те, що майнери біткойнів циклічно використовують все більшу кількість короткочасного обладнання, яке може посилити зростання глобальних електронних відходів. Якщо на ранніх етапах розвитку майнінгу використовувались центральні процесори (ЦП) та відео карти, які крім виробництва криптовалют могли використовуватись як універсальне обладнання, то перехід до більш потужних спеціалізованих блоків ASIC поглиблює проблему електронних відходів. Середній термін використання ASIC складає 1,5 року, після чого його треба утилізувати. Найбільшим виробником ASIC у світі є китайська фірма Bitmain, частка ринку якої оцінюється в 76 %, проте вона не займається утилізацією обладнання власного виробництва після його використання. Крім того, в країнах з найбільшою часткою виробництва криптовалют взагалі не існує потужностей з утилізації електронного обладнання.

Узагальнюючи проведений аналіз думок науковців пропонується розглядати процес майнінгу, як такий, що складається з трьох основних етапів:

- підготовка та реєстрація бізнесу;
- безпосередньо створення крипто активу;
- вивід створеного активу на ринок віртуальних активів.

Перший етап є вирішальним з точки зору превентивних дій щодо ризиків, які виникнуть на наступному етапі. На цьому етапі необхідно визначитись з місцем розташування обладнання, типом обладнання, яке буде використовуватись в процесі майнінгу. На вибір місця впливатимуть такі фактори, як наявність джерел відновлюваної енергії, вартість електроенергії, доступ до водних ресурсів для охолодження, можливість корисного використання відведеного тепла, кліматичні умови. На вибір обладнання в першу чергу впливатиме його енергоефективність, термін корисної роботи та можливість подальшої утилізації.

На нашу думку, надання майнінгу унікального коду в КВЕД та запровадження ліцензування означеної діяльності є обов'язковими діями держави на шляху зменшення ризиків, пов'язаних зі створенням віртуальних фінансових активів. Ліцензійні умови мають містити вимоги до мінімальної енергоефективності, встановлення лімітів на використання електроенергії та інтернет-трафіку, зобов'язання щодо безпечної утилізації електронних відходів. При формуванні ліцензійних умов та для проведення ліцензування необхідно залучати фахівців Міністерства енергетики України [16]

та Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів [17].

На другому етапі важливим є вибір механізму консенсусу Proof-of-Stake, що дасть змогу заощаджувати електроенергію.

Третій етап передбачає під час виведення створених активів на ринок надання інформації щодо виду і обсягу ресурсів, які було використано при майнінгу, а також щодо обсягу викидів вуглецю та тепла. Це дасть можливість інвесторам приймати обґрунтовані рішення з урахуванням їх ставлення до екологічної безпеки.

**Висновки.** Необхідність протистояння шкідливому впливу майнінгу на зовнішнє середовище вимагає від держави визнання майнінгу як окремого виду діяльності із внесенням його до КВЕД та запровадження ліцензування із включенням до ліцензійних умов вимог щодо зменшення ризиків в діяльності майнерів.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Закон України “Про віртуальні активи” від 17.02.2022 р. № 2074-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2074-20>
2. Вплив майнінгу Bitcoin на навколишнє середовище URL: <https://www.bitget.com/uk/academy/the-environmental-impact-of-bitcoin-mining>
3. Кембриджський біткоїн – індекс споживання електроенергії. Попит на потужність мережі Bitcoin. URL: <https://ccaf.io/cbeci/index>
4. Bitcoin Energy Consumption Index. URL: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
5. Дмитренко Т. Л., Волкова В. М. Особливості регулювання операцій із віртуальними активами щодо діяльності у сфері майнінгу. *Наукові праці НДФІ*. 2021. № 2. С. 85–95.
6. Мазаракі А., Волосович С. (2022). Майнінг криптовалют в умовах критичних трансформаційних процесів. *Cientia Fructuosa*, 2022. Вип. 142 (2). С. 4–20. DOI: [https://doi.org/10.31617/visnik.knute.2022\(142\)01](https://doi.org/10.31617/visnik.knute.2022(142)01)
7. Міжнародний досвід законодавчого регулювання питання функціонування криптовалют, криптовалютних бірж, майнінгу та виводу в фіат. URL: <https://infocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29421.pdf>
8. Самоходський І., Шелест О. Зелена книга “Регулювання ринку криптовалют” / За ред.: Олексій Гончарук, О. Кубраков, Д. Горюнов. Київ: Офіс ефективного регулювання BRDO, 2018. С. 69. URL: <https://regulation.gov.ua/book/91-zelena-kniga-reguluvanna-rinku-kriptovalut>
9. Kohli V., Chakravarty S., Chamola V., Sangwan K.S., Zeadally S. Ananalysis of energy consumption and carbon foot prints of crypto currencies and possible solutions. *Digital*

*Communications and Networks*, 2023. Vol. 9(1). P. 79–89. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864822001390?via%253%20Dihub> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864822001390>

#### REFERENCES:

1. Zakon Ukrainy “Pro virtualni aktyvy” vid 17.02.2022 r. № 2074-IX [Law of Ukraine “On Virtual Assets” dated February 17, 2022 No. 2074-IX]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2074-20>
2. Vplyv maininhu Bitcoin na navkolyshnie seredovishche [The Environmental Impact of Bitcoin Mining]. Available at: <https://www.bitget.com/uk/academy/the-environmental-impact-of-bitcoin-mining>
3. Kembrydzhskiy bitkoin – indeks spozhyvannia elektroenerhii. Popyt na potuzhnist merezhi Bitcoin [Cambridge Bitcoin – Electricity Consumption Index. Bitcoin network power demand]. Available at: <https://ccaf.io/cbeci/index>
4. Bitcoin Energy Consumption Index. Available at: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
5. Dmytrenko T.L., Volkova V.M. (2021) Osoblyvosti rehuliuвання operatsii iz virtualnyimi aktyvamy shchodo diialnosti u sferi maininhu [Peculiarities of regulation of transactions with virtual assets in relation to mining activities]. *Naukovi pratsi NDFI*, no. 2, pp. 85–95.
6. Mazaraki A., Volosovych S. (2022). Maininh kryptovaliut v umovakh krytychnykh transformatsiinykh protsesiv [Cryptocurrency mining in the conditions of critical transformational processes]. *Cientia Fructuosa*, 142(2), 4–20. DOI: [https://doi.org/10.31617/visnik.knute.2022\(142\)01](https://doi.org/10.31617/visnik.knute.2022(142)01)
7. Mizhnarodnyi dosvid zakonodavchoho rehuliuвання pytannia funktsionuvannia kryptovaliut, kryptovaliutnykh birzh, maininhu ta vyvodu v fiat [International experience of legislative regulation of the functioning of cryptocurrencies, cryptocurrency exchanges, mining and withdrawal into fiat]. Available at: <https://infocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29421.pdf>
8. Samokhodskiy I., Shelest O. (2018) Zelena knyha “Rehuliuвання rynku kryptovaliut” [Green book “Regulation of the cryptocurrency market”]. In Olexii Honcharuk, O. Kubrakov, D. Horiunov. Kyiv: Ofis efektyvnoho rehuliuвання BRDO, 69 p. Available at: <https://regulation.gov.ua/book/91-zelena-kniga-reguluvanna-rinku-kriptovalut>
9. Kohli V., Chakravarty S., Chamola V., Sangwan K., Zeadally S. (2023). Ananalysis of energy consumption and carbon foot prints of crypto currencies and possible solutions. *Digital Communications and Networks*, vol. 9 (1), pp. 79–89. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864822001390?via%253%20Dihub> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864822001390>