

DOI:<https://doi.org/10.15407/etet2021.03.091>

УДК: 33.339.7

JEL: E44, E51

Тетяна Унковська

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА ЕМІСІЯ В БЛОКЧЕЙНІ БІТКОІНА І МОНЕТАРНЕ ПРАВИЛО НАКАМОТО

У статті за допомогою математичного моделювання досліджені властивості блокчейна системи Біткоїна як нового глобального феномена монетарної економіки, що потребує осмислення з точки зору економічної теорії – саморегульованої системи децентралізованої емісії без участі органу монетарної влади. Проаналізовано параметри системи Біткоїна, що задають динаміку саморегульованого емісійного механізму, який працює в пінгвовій мережі, і забезпечує поступове зростання "грошової маси" із темпами, що знижуються, і переходом в довгостроковому періоді у граничний стан з максимальним обсягом (21 млн BTC). Саморегулювання реалізується через негативний зворотний зв'язок між зміною керуючих параметрів і швидкістю майнінгу біткоїна. Керуючими параметрами є цільовий інтервал значень хеш-функції і рівень складності майнінгу біткоїна (Bitcoin Difficulty), який визначається залежно від відхилень реальної швидкості майнінгу від цільового значення. Це забезпечує підтримку постійної швидкості майнінгу і стійкості темпів емісії.

Автор запропонував сплайн-функцію, яка описує щорічне збільшення емісії криптовалют відповідно до протоколу Proof-of-Work в алгоритмі блокчейна Біткоїна. Ця сплайн-функція дозволила встановити монетарне правило, що визначає щорічні темпи емісії. У статті пропонується назвати це монетарне правило на ім'я розробника системи Біткоїна – монетарне правило Накамото. Монетарне правило Накамото можна розглядати як перший приклад програмованого монетарного правила, закладеного в алгоритмі децентралізованої емісії на основі технології блокчейна. Центральні банки можуть використовувати аналогічний підхід з необхідними модифікаціями для розробки своїх програмованих монетарних правил на основі технології DLT або блокчейна для емісії цифрових валют центральних банків (CBDC).

Ключові слова: цифрові валюти центральних банків (CBDC), блокчейн, біткоїна, криптовалюта, цифрові валюти, центральні банки, децентралізована емісія, монетарне правило.

DECENTRALIZED ISSUES IN BLOCKCHAIN OF BITCOIN AND NAKAMOTO MONETARY RULE

Tetiana Unkovska (unkovskaya@ukr.net) Doctor of Economics Sci., Research Director, Institute for Innovation Development INTENS.

Унковська Тетяна Євгенівна (unkovskaya@ukr.net) д-р екон. наук, директор з досліджень Інституту розвитку інновацій INTENS.

Цитування: Унковська Т. Є. Децентралізована емісія в блокчейні біткоїна і монетарне правило Накамото. *Економічна теорія*. 2021. № 3. С. 91–110. DOI:<https://doi.org/10.15407/etet2021.03.091>

© Т. Унковська, 2021

ISSN 1811-3141. *Економічна теорія*. 2021. № 3: 91–110

The paper is devoted to studying the bitcoin blockchain as a new global phenomenon in monetary economics, which requires comprehending from the economic theory view – a self-regulating system of decentralized emission without participation of a central monetary authority. Mathematical modelling is the instrument of this studying. The author has analyzed the Bitcoin system parameters that determine dynamics of a self-regulating emission mechanism. This mechanism operates in a peer-to-peer computer network and provides a smooth increasing of the "money supply" with a gradually decreasing rate of growth. The limit of this growth is determined by maximal volume 21 million BTC. Self-regulation is implemented through negative feedback between changes of control parameters (the target interval for the hash function values and the Bitcoin Difficulty level) and the speed of mining process. Control parameters depend on the real speed deviations from the target value. This mechanism provides a stable mining speed and determines annual rate of emission.

The author suggests a spline-function for description the annual rate of the cryptocurrency emission in accordance with the Proof-of-Work protocol in the Bitcoin blockchain algorithm. This spline-function gives possibility to find a monetary rule for annual rate of emission. The author in the paper proposes to call this monetary rule by the name of the Bitcoin system inventor – Nakamoto Monetary Rule. The Nakamoto Monetary Rule could be seen as the first example of a programmable monetary rule of the decentralized emission algorithm on the basis of blockchain technology. Central banks could use a similar approach, with the necessary modifications, to develop their programmable monetary rules for Central Bank Digital Currencies (CBDCs) emission based on DLT or blockchain technology

Key words: Central Bank Digital Currency (CBDC), blockchain, bitcoin, cryptocurrency, digital currencies, central banks, decentralized emission, monetary rule

1. Виникнення системи біткоїна та інших криптовалют

"Біткоїн був створений спеціально для вирішення фундаментальної проблеми, притаманної сучасним грошам ... Знайдіть час, щоб зрозуміти систему Біткоїна, а потім використовуйте ці знання для оцінки монетарного простору"

*Parker Lewis,
колишній співробітник Deutsche Bank,
автор книги "Gradually then Suddenly"*

31 жовтня 2008 року було опубліковано Whitepaper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" (Nakamoto, 2008) під псевдонімом Satoshi Nakamoto з коментарем: "Я розробляю нову цифрову грошову систему, яка повністю є піринговою¹ і не вимагає довіреної третьої сторони" (Nakamoto, 2008). Спочатку стаття зацікавила тільки вузьке коло фахівців-криптографів. Їхнє листування (Nakamoto та ін., 2008–2010) з Сатоші Накамото містить обговорення технічних питань і деяких сумнівів. Але 8 січня 2009 року в одному з листів Сатоші Накамото оголосив про запуск біткоїна – Bitcoin v1.0 і відправив у публічний інформаційний простір посилання, за яким завантажувалася нова система, написана як програма з відкритим кодом.

Це стало спусковим механізмом, що запустив лавиноподібний розвиток децентралізованих криптовалют (на сьогодні їх існує понад 10 тисяч) і криптоіндустрії на глобальному рівні, до якого приєдналися не тільки великі інституційні інвестори, біржі та платіжні системи, а й деякі уряди. Зокрема,

¹Пірингова, або однорангова, система – це система, в якій учасники взаємодіють безпосередньо, без посередників або централізованого органу.

парламент Сальвадора ухвалив закон про обіг біткоіна як офіційної валюти в країні (*Renteria, Wilson, Strohecker, 2021*). На 3.09.2021 року капіталізація глобального ринку біткоіна становила вже 947,99 млрд дол. США (*Data Yahoo finance, 2021*).

Все це стимулювало центральні банки і міжнародні фінансові організації звернути серйозну увагу на феномен глобального поширення криптовалют, який до цих пір повністю не осмислений економічною наукою і викликає запеклі суперечки.

Очевидно, що ігнорування цього феномена або спроби його заборони на рівні державного регулювання не є хорошою стратегією. Ігнорування призвело б до того, що центральні банки поступово відстали в гонці цифрових технологій, втратили нові можливості і серйозний вплив на грошову сферу. В цьому випадку могли б загостритися ризики переходу фіатних валют на другорядні ролі в національних економічних системах з усіма подальшими системними ризиками. А повну заборону глобальних децентралізованих криптовалют, по-перше, неможливо здійснити технічно, по-друге, це загрожує ще більшим розростанням нерегульованого цифрового фінансового сектора з вибуховим зростанням технологічних інновацій, які обходять заборони.

Тому центральні банки і міжнародні фінансові регулятори вибрали розумну стратегію адаптації до нової реальності і активної участі у формуванні ринку цифрових валют і грошей майбутнього. Вони почали глибоке дослідження нових ризиків і нових можливостей, які виникають у зв'язку з бурхливим розвитком криптовалют і криптоіндустрії, і сконцентрували зусилля на створенні цифрових валют центральних банків (*CBDC – Central Bank Digital Currency*).

Особливу тривогу у центральних банків та регуляторів викликає непрогнозований розвиток глобальних стейблкоїнів (*GSB – Global Stablecoins*), що претендують на заміщення в майбутньому світових резервних валют.

Глобальні стейблкоїни – це криптовалюти, які для зниження їх волатильності прив'язані до біржових товарів або традиційних валют центральних банків і мають властивості, що стимулюють їх глобальне поширення.

Зазвичай стейблкоїни функціонують у фінансовій екосистемі, яка забезпечує їх ключові функції:

- емісія, викуп і стабілізація вартості стейблкоїнів;
- транзакції між користувачами стейблкоїнів;
- взаємодія з користувачами, тобто підтримка функціонування інтерфейсу.

Як правило, кожна функція забезпечується певними операційними структурами (керуючим органом, біржами, операторами платіжних систем) та базовими технологіями – DLT, зокрема блокчейном, смарт-контрактами та іншими інструментами.

Згідно з аналітичною доповіддю "Investigating the impact of global stablecoins" (*G7 Working Group on Stablecoins, 2019*), підготовленою спільно G7, IMF і BIS, глобальні стейблкоїни, з одного боку, можуть сприяти

спрощенню і підвищенню доступності фінансових ресурсів і системи транс-кордонних платежів, а з іншого – можуть загострити ризики для:

- законності проведення трансакцій, контролю за відмиванням грошей і фінансуванням тероризму;
- безпеки, ефективності та цілісності платіжної системи;
- прозорості інвестиційних правил і захисту прав інвесторів і споживачів;
- кібербезпеки і операційної стійкості;
- захисту персональних даних;
- прозорості сплати податків;
- монетарної і фінансової стабільності;
- стійкості глобальної монетарної системи;
- чесної конкуренції.

Автори доповіді звернулися до урядів, центральних банків і державних агентств з пропозицією реалізувати відповідальні зважені підходи до впровадження інновацій у платіжних і монетарних системах.

Крім попередження про ризики, в доповіді було опубліковано таке звернення:

"Ми закликаємо центральні банки, міністерства фінансів, органи, які встановлюють стандарти, такі як СРМІ і відповідні міжнародні організації, розробити дорожні карти для підвищення ефективності і зниження вартості платежів та фінансових послуг. Крім того, центральним банкам доцільно продовжувати обмін знаннями та досвідом щодо можливих рішень для вдосконалення монетарних і платіжних систем. Необхідна активізація колективних та індивідуальних зусиль центральних банків з оцінки можливостей запуску проєктів цифрових валют центральних банків (CBDC) у відповідних юрисдикціях з урахуванням усіх ризиків і необхідних заходів щодо їх запобігання".

Особливо гострий сигнал, який підштовхнув до вибору цього шляху, пролунав в середині 2019 року. Асоціація Libra устами глави компанії Facebook Марка Цукерберга офіційно оголосила про свій план щодо запуску глобального стейблкоїна Libra (*AssociationDiem, 2021*), прив'язаного до кошика резервних валют. У своєму документі WhitePaper від 18.06.2019 року Асоціація пояснила деталі і терміни запуску цієї валюти. Крім того, був опублікований досить солідний склад Асоціації Libra на той момент:

- Payments: MasterCard, PayPal, PayU (Naspers' fintech arm), Stripe, Visa;
- Technology and marketplaces: Booking Holdings, eBay, Facebook/Calibra, Farfetch, Lyft, Mercado Pago, Spotify AB, Uber Technologies, Inc.;
- Telecommunications: Iliad, Vodafone Group;
- Blockchain: Anchorage, Bison Trails, Coinbase, Inc., Xapo Holdings Limited;
- Venture Capital: Andreessen Horowitz, Breakthrough Initiatives, Ribbit Capital, Thrive Capital, Union Square Ventures;
- Nonprofit and multilateral organizations, and academic institutions: Creative Destruction Lab, Kiva, Mercy Corps, Women's World Banking Over.

Було зрозуміло, що задум Libra, враховуючи 2,8 мільярда (*Business of Apps*, 2021) активних користувачів Facebook, які могли б забезпечити **вибуховий мережевий ефект** її поширення, істотно відрізняється від інших стейблкоїнів і може серйозно вплинути на позиції світових резервних валют і глобальну фінансову архітектуру. Це викликало серйозну стурбованість.

Мережевий ефект – це економічний ефект залежності зростання цінності активу для споживача від кількості інших споживачів, які ним користуються.

Наприклад, мережеві ефекти впливають на цінність валют, а також таких товарів, як телефони або інші товари і послуги, пов'язані з взаємодією людей.

Мережевий ефект описується **законом Меткалфа** (*Metcalf*, 2013), який стверджує, що цінність мережевого активу пропорційна квадрату кількості його користувачів:

$$p \approx \frac{n^2}{2},$$

де p – цінність активу для користувачів; n – кількість користувачів.

Якщо в цю формулу підставити кількість активних користувачів Facebook, то очевидно, що цінність стейблкоіна цієї соціальної мережі могла б перевершити найсміливіші оцінки.

У відповідь на заяву Асоціації Libra пролунала серія публічних виступів офіційних осіб центральних банків і міжнародних фінансових організацій з приводу глобальних ризиків запуску цифрової валюти Libra. 25 червня 2020 року Конгрес США провів слухання "Overseeing the FinTech revolution: domestic and international perspectives on FinTech regulations" (*U.S. Congressional Hearing*, 2019), присвячені цьому питанню, після яких плани Асоціації Libra трансформувалися.

1 грудня 2020 року в офіційному прес-релізі Асоціація оголосила про ребрендинг (*Association of Diem*, 2020), зміну ключових керівників і прийняття нової назви – Diem Association. У релізі Асоціація запевнила, що буде діяти тільки після схвалення регуляторів, зокрема, отримання ліцензій FINMA.

Всі ці події, а також форс-мажорні умови пандемії, перехід багатьох видів діяльності в онлайн і прискорення процесів цифровізації економіки стали потужним поштовхом для центральних банків сконцентрувати увагу на додаткових дослідженнях технологій DLT, блокчейна і криптоіндустрії, і розвитку своїх цифрових валют.

2. Чому виникли децентралізовані криптовалюти

Ідея створення децентралізованої цифрової грошової системи, незалежної від органів державної влади або банківських посередників, володіла умами багатьох інтелектуалів і спільнот задовго до 2008 року. Система, в якій кожен, хто має золото, міг, по суті, емітувати гроші, а паперові валюти мали під собою золоту основу, існувала давно і припинила своє існування тільки з кінцем класичного золотого стандарту. Така система і сьогодні

видається багатьом прихильникам золотого стандарту як поєднання фінансової свободи і фінансової стабільності.

З точки зору економічної науки, ідеї децентралізованих грошей, приватних криптовалют і цифрових валют центральних банків для фізичних осіб не є новими. Новизна полягає в технічних інструментах реалізації цих ідей. Ще в 1986 році лауреат Нобелівської премії Фрідріх Хайек опублікував книгу "Денаціоналізація грошей" (*Наука*, 1990), в якій він критикує монополію центральних банків на грошову емісію і пропонує впровадження децентралізованої монетарної системи.

Що стосується моделі "гроші центрального банку – кінцевий споживач", цю ідею ще в 1985 році опублікував відомий економіст Джеймс Тобін (*Tobin*, 1985) у статті "Фінансові інновації та майбутнє дерегулювання".

Особливо різко тяга до децентралізованих мережевих грошей прокидалася за часів катастрофічних збоїв традиційної грошової системи, що проявляються в гіперінфляції, фінансових кризах і валютних крахах. Це підсилювалось усвідомленням нервової безпорадності центральних банків і МВФ у протидії валютним колапсам і зuboжінню величезної маси людей. Ще в 1990-х роках після катастрофічної фінансової кризи в Південно-Східній Азії активізувалися спроби інтелектуалів у різних країнах розробити цифрові децентралізовані гроші, які могли б генеруватися і поширюватися всередині спільнот, а криптографічні інструменти суспільного консенсусу замінили б собою центральний банк і органи регулювання. Але незважаючи на те, що вже тоді існували розвинуті криптографічні методи та ІТ-технології, залишалось багато невирішених технічних питань, що перешкоджають втіленню цієї ідеї в реальність.

Інноваційний прорив системи "цифрового золота" Сатоші Накамото полягає в тому, що він з геніальною елегантністю і простотою поєднав в одне ціле три різні ідеї, що існували раніше в різних сферах:

- асиметричні криптографічні методи,
- розподілені бази даних і розподілене реєстр, блокчейн,
- принцип децентралізованих приватних цифрових грошей.

У цій статті пропонується аналітичний підхід до дослідження монетарного правила децентралізованої емісії в системі блокчейна Біткоїна.

3. Монетарні правила і децентралізована емісія біткоїна

Система Біткоїна є глобальним і принципово новим феноменом з точки зору монетарної економіки – саморегулюючою системою децентралізованої емісії цифрових активів (біткоїнів) без участі центрального емісійного органу.

Внутрішні параметри цієї системи налаштовані і закріплені в програмному коді таким чином, що забезпечують стійку і стабільну роботу механізму децентралізованої емісії. **Цей саморегулюючий емісійний механізм, що працює в піринговій комп'ютерній мережі, забезпечує плавне зростання "грошової маси" зтемпами, що поступово знижуються,**

і переходом в довгостроковому періоді в граничний стан – заздалегідь заданий обсяг (21 млн BTC).

Архітектором системи Біткоіна, якого ми знаємо під псевдонімом Сатоші Накамото, створена глобально працююча децентралізована комп'ютеризована система, заснована на блокчейні, що імітує ресурсомісткий процес поступового видобутку людством золота. При цьому в систему вбудовані імітаційні аналоги природних обмежень видобутку золота за швидкістю та обсягом. Ці аналоги сприяли закріпленню за біткоіном його неформальної назви – "цифрове золото".

У своєму ранньому листуванні Сатоші Накамото так розкрив свій задум: "Як розумовий експеримент уявіть, що існує базовий метал, настільки ж рідкісний, як золото, але з такими властивостями: нудний сірий колір, погана провідність електрики, низький рівень міцності ..., марний для будь-яких практичних або декоративних цілей ... але він володіє одною особливістю, магічною властивістю: його можна передавати каналами зв'язку".

Багато відомих у світі економістів упродовж історії центральних банків і фіатних валют пропонували різні обмежувачі емісії грошей – монетарні правила як певний м'який, віртуальний аналог золотого стандарту.

Монетарні правила – це заздалегідь встановлені правила або формули, які регламентують вибір інструментів монетарної політики, зміни їх величини і / або параметрів грошової емісії.

Наприклад, одним із найбільш відомих і найбільш жорстких є **монетарне правило Мілтона Фрідмана** (*Friedman*, 1960), яке полягає в тому, що швидкість збільшення обсягу грошей в обігу в довгостроковому аспекті не повинна перевищувати темпи зростання ВВП, а щорічний приріст грошової маси повинен бути в межах 3–5%.

Існує ціла низка монетарних правил, що володіють більшою або меншою гнучкістю зв'язку параметрів грошової емісії та інструментів монетарної політики з інфляцією, темпами зростання ВВП й іншими показниками (табл. 1).

Цікаво, що технічна архітектура системи Біткоіна вибудована як **глобальна саморегульована децентралізована система емісії грошей, автоматично керована певним монетарним правилом**, що володіє антиінфляційними характеристиками і властивостями швидкої адаптації до мінливого зовнішнього середовища.

Це правило можна назвати **монетарним правилом Накамото**.

У відкритій літературі поки що недостатньо досліджень блокчейна і Proof-of-Work системи Біткоіна з точки зору монетарного сенсу створених механізмів, хоча такі дослідження були б дуже корисними для більш глибокого розуміння нових ризиків і нових можливостей для глобальної фінансової системи, пов'язаних з глобальним поширенням біткоіна. Тому цей підрозділ присвячений саме таким дослідженням.

Систематизуємо короткі відомості про традиційні монетарні правила. Все різноманіття підходів центральних банків до монетарної політики

укрупнено можна розділити на **два види**: дискреційний підхід і підхід, заснований на монетарних правилах.

1. Дискреційний підхід до монетарної політики – це монетарна система, в якій центральний банк має повну свободу прийняття стратегічних і оперативних рішень з управління грошовою масою і кредитними процесами. За такого підходу центральний банк дискреційно (*discretion* англ. – свобода дій) приймає і реалізує рішення, виходячи зі свого розуміння поточної ситуації, наявних у нього інструментів монетарного впливу і можливостей розширення цих інструментів.

Наприклад, у багатьох країнах багато центральних банків з 2008 року і до сих пір (другим поштовхом стала криза пандемії) застосовують розширені програми кількісного пом'якшення (*Quantitative Easing, QE*) як антикризові заходи для стимулювання економічного зростання, недопущення дефляції і рецесії.

У таких країнах, як Україна, свобода дій НБУ і дискреційна монетарна політика з 2014 по 2019 рік вилилися в процеси, зворотні за змістом кількісного пом'якшення – в демонетизацію реального сектора економіки через завищені відсоткові ставки за депозитними сертифікатами НБУ. Раціональність такої політики під час сильного економічного спаду, безпрецедентного кредитного стиснення (коли відношення банківських кредитів для підприємств реального сектора до ВВП падало до катастрофічного менше 15%) і подальшої економічної стагнації складно пояснити цілями інфляційного таргетування. Особливо, якщо інфляція має характер інфляції витрат.

Очевидно, що дискреційний підхід може добре працювати тільки за умови високого професіоналізму монетарного регулятора і високої віри суспільства у доцільність монетарної політики. У цьому випадку передача широких повноважень центральним банкам і їх дискреційна політика може бути виправданою.

Однак світова історія економічних криз у багатьох випадках показує серйозні проблеми цього підходу. Тому існує й інший підхід до проведення монетарної політики.

2. Другий підхід – це проведення політики центрального банку, засноване на заздалегідь визначених монетарних правилах. Серед фахівців (Цукарев, 2019) його необхідність обґрунтовується такими перевагами:

1) усунення неузгодженості політики центральних банків у часі, коли вони запізняються або занадто поспішають з прийняттям і реалізацією ключових рішень.

У цьому контексті ще в 70-х роках прозвучала відома аргументація лауреата Нобелівської премії Мілтона Фрідмана (*Friedman, 1965*) на користь введення монетарних правил. Її сенс у тому, що при зміні економічних умов центральні банки занадто довго зволікають з прийняттям рішень і спізнюються зі своєю реакцією, потім занадто сильно тиснуть на газ, доводячи економіку до шоку, а потім дуже сильно гальмують, руйнуючи економічні стимули і додаючи додаткові потрясіння, коли ліки стають гірше самої хвороби. Через це дискреційна політика центральних банків занадто дорого

обходиться суспільству, тому потрібні оптимальні монетарні правила, що виключають руйнівні помилки і свавілля грошових регуляторів;

2) більш чіткі комунікації і пояснення центральним банком своїх рішень суспільству, що веде до більшої прогнозованості очікувань і реакцій ринку;

3) зниження ризиків для бізнесу, яку спричиняє невизначеність монетарної політики;

4) більш високий рівень прозорості та підзвітності центральних банків і більша чіткість критеріїв ефективності їх роботи, що підвищує довіру до них у разі успіху і робить свій внесок у соціальну стабільність;

5) підвищення зручності в дослідженнях на підставі історичних зіставлень і аналізів монетарної політики центральних банків.

Наведемо зведену таблицю основних відомих монетарних правил і короткі пояснення (табл. 1).

Таблиця 1

Основні монетарні правила в центральному банкінгу

Назва монетарного правила	Автори і посилання на розробки	Суть монетарного правила і необхідні формули	Коментарі
Фіксовані монетарні правила (Fixed monetary rules)		Фіксують регламент дій центрального банку через жорстке встановлення інструменту монетарної політики та його кількісних параметрів	
Монетарне правило Фрідмена – правило постійного темпу приросту грошової маси	Мілтон Фрідмен	Збільшення грошової маси в довгостроковому аспекті не повинно перевищувати темпи економічного зростання, а щорічні темпи цього збільшення повинні бути в межах 3-5%	
Монетарне правило МакКаллума	МакКаллум Статті (McCallum, B.T. Robustness, 1988); (TuuliKoivu, AaronMehrotraandRiikkaNuutilainen, 2008)	$\Delta m = \Delta x^* - \Delta v^* - 0,5 \Delta x (\Delta x - \Delta x^*)$, де m – грошова база, x – номінальний ВВП, Δv^* – середній індекс зростання швидкості обігу грошей	
Гнучкі монетарні правила зі зворотним зв'язком (Feedback monetary rules)		Визначають кількісні параметри інструментів монетарної політики залежно від параметрів зовнішнього середовища	
Правило процентної ставки Вікселля	Кнут Вікселль (Knut Wiksell, 1936, "Interest and Prices")	$\Delta i = \theta \pi$, де i – процентна ставка центрального банку;	Кнут Вікселль запропонував це правило

Назва монетарного правила	Автори і посилання на розробки	Суть монетарного правила і необхідні формули	Коментарі
		π – темп інфляції; $\pi = \Delta p$, де p – логарифм індексу цін; θ – позитивний коефіцієнт відповідної реакції центрального банку	в 1898 р. Під час золотого стандарту він передбачив перехід до чистого фіатного грошового стандарту
Правило Тейлора	Джон Тейлор (J.V. Taylor, 1993), (J.V. Taylor, 2000).	Процентна ставка повинна збільшуватися або знижуватися залежно від відхилення рівня цін або обсягу ВВП від своїх рівноважних рівнів: $i - i^* = \theta\pi (\pi - \pi^*) + \theta y (y - y^*)$ Класичний варіант: $i = 2 + \pi + 0,5(\pi - 2) + 0,5(y - y^*)$	
Правило Чарльза Гудхарта для монетарної політики Банку Англії	Чарльз Гудхарт (Charles Goodhart, 1989)	$i = 0,03 + 1,5\pi$, де π — темп інфляції, а рівноважна номінальна процентна ставка дорівнює 3%	Окремий випадок монетарного правила Тейлора
Монетарне правило Болла (Ball Monetary Rule)	Лоуренс Болл (Laurence Ball, 1997)	$\gamma_1 r(t) + (1 - \gamma_1) e(t) = \gamma_2 y(t) + \gamma_3 (\pi(t) + \xi e(t-1))$ де y — логарифм реального випуску; r — реальна процентна ставка; e — логарифм реального валютного курсу (збільшення e означає зміцнення); π — інфляція	Лоуренс Болл показав, що для середніх і малих відкритих економік це правило дає точніші результати, ніж правило Тейлора

Джерело: систематизовано за Т. Цукаревим (2009).

Завдання пошуку оптимального монетарного правила, яке регулює процеси грошової емісії, давно турбує теоретиків і практиків центрального банкінгу.

З цієї точки зору цікаво досліджувати питання – **яке монетарне правило пропонують механізми децентралізованої емісії в системі Біткоїна?**

4. Монетарне правило Накамото

Емісія біткоїнів здійснюється через канал отримання майнерами винагороди за генерування нових блоків. Словами Сатоші Накамото (Nakamoto, 2008): "За замовчуванням, перша транзакція в блоці є спеціальною, що створює нові монети, які належать творцеві блоку. Така схема заохочує чесних учасників мережі, стимулюючи їх підтримувати роботу мережі, а також

вирішує питання про початковий розподіл грошової маси за відсутності центрального емітента. Рівномірне збільшення числа монет в обігу можна порівняти з видобутком золота, в який теж вкладаються ресурси. В ролі останніх в нашому випадку виступають процесорний час і електрику".

І далі: "Іншим способом стимулювання може бути комісія за транзакції. Якщо вхідна сума платежу більше вихідної, то різниця є комісією за переклад і додається до базового значення нагороди за знайдений блок у першій транзакції. Як тільки сумарний обсяг грошової маси досягне заздалегідь встановленого максимуму, єдиним джерелом заохочення роботи над блоками залишаться комісії, при цьому позбавлені від інфляції. Таке стимулювання може також сприяти зменшенню випадків шахрайства".

Програмний код і протокол Біткоіна організовані так, що в середньому кожні 10 хвилин (*Block Time*) в блокчейні Біткоіна з'являється один новий блок, що тягне за собою емісію нових монет як винагороду майнеру (*Block Reward*).

Величина цієї винагороди змінюється в часі відповідно до процедури халвінгу (*halving* – англ. скорочення вдвічі).

Процедура халвінгу полягає в тому, що через кожні нові 210 000 блоків, здобуті в блокчейні (в середньому на це потрібно чотири роки), нагорода майнерам за один новий блок у біткоінах зменшується вдвічі:

- з 3.01.2009, коли був добутий перший блок Сатоші Накамото (генезис-блок) до 28.11.2012 року (коли був здобутий 210000-й блок) винагорода становила 50 біткоінів (BTC) за один блок;
- з 28.11.2012 до 9.07.2016 – 25 BTC;
- с 9.07.2016 до 11.05.2020 – 12,5 BTC;
- з 11.05.2020 – 6,25 BTC на сьогодні (серпень 2021 г.) і далі до наступного халвінгу.

Наступний халвінг очікується в 2024 році (3,125 BTC), потім у 2028 році (1,5625 BTC) і так далі (рис. 1).

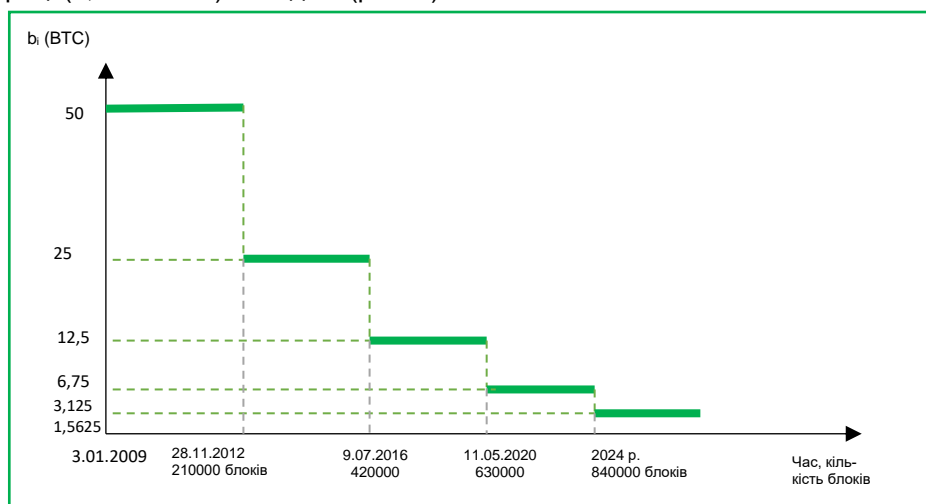


Рисунок 1. Графік халвінгу–зменшення винагороди майнерам за генерування одного блоку в блокчейні Біткоіна

Джерело: графік розроблений автором на основі алгоритму системи Біткоін

З точки зору динаміки емісії біткоіна найбільш важливі два ключові параметри:

T_i – час, після якого з'являється кожен новий блок у блокчейні (BlockTime) або швидкість генерування блоків (V_i);

b_i – винагорода (BlockReward) майнерам новими біткоінами за генерування кожного нового i -го блоку в блокчейні.

У програмному коді і протоколі Біткоіна закладена постійна швидкість генерування блоків – 1 блок за 10 хвилин, тобто:

$$V = 6 \frac{\text{блоків}}{\text{год}} = 144 \frac{\text{блоки}}{\text{день}} = 52560 \frac{\text{блоків}}{\text{рік}}$$

Відхилення реальної швидкості генерування блоків від заданої перевіряється програмним кодом через кожні 2016 блоків. Це відповідає 14 дням роботи всієї глобальної обчислювальної мережі Біткоіна.

У програмне забезпечення **вбудована система з негативним зворотним зв'язком для підтримки постійної швидкості майнінгу, тобто автоматичного регулювання темпів емісії.**

Системи зі зворотним зв'язком дуже поширені і в природі, і в технічних пристроях. Ба більше, на системах з позитивним і негативним зворотним зв'язком заснована вся світобудова від космічного рівня до мікроскопічного – це мова, якою говорить природа. Тому не дивно, що багато технологічних процесів базуються на механізмах зворотного зв'язку. І архітектори децентралізованої цифрової валюти – біткоіна – також використовували ці універсальні принципи.

Приклади систем зворотного зв'язку. Зворотний зв'язок – це залежність керуючого впливу на систему від стану самої системи: негативний зворотний зв'язок зменшує відхилення системи від рівноваги, позитивний – збільшує його. Тобто **негативні зворотні зв'язки стабілізують** системи, а позитивні через самопосилювальні процеси переводять систему в якісно інший стан.

На принципі негативного зворотного зв'язку засновано підтримку будь-яких рівноважних процесів – при відхиленні системи від рівноваги на її вхід подається сигнал, пропорційний відхиленню від рівноваги, який гасить це відхилення і повертає систему до цільового стану. Наприклад, в природних системах – це механізми підтримки гомеостазу (стійкості внутрішнього середовища) на гормональному, клітинному рівні живих організмів, а також на рівні екосистем. В принципі, ми зобов'язані своїм щоденним життям природним механізмам зворотного зв'язку, що підтримує стабільну температуру організму, тиск й інші параметри. Приклади механізмів негативних зворотних зв'язків у техніці – це термостати різних видів, системи клімат-контролю і круїз-контролю в автомобілях для підтримки цільового стану і багато інших технічних пристроїв.

В системі Біткоіна система негативного зворотного зв'язку для підтримки постійної швидкості майнінгу працює *через зміну керуючого*

параметра – складність майнінгу біткоінів (BitcoinDifficulty), який визначається залежно від відхилень реальної швидкості від цільового значення. Кожні два тижні алгоритм порівнює реальну швидкість майнінгу з її цільовим значенням і виконує такі дії:

- якщо чергові 2016 блоків "здобути" швидше, ніж за два тижні, тобто швидкість генерування блоків перевищує задану, то алгоритм підвищує рівень складності майнінгу і швидкість майнінгу сповільнюється;

- якщо 2016 блоків здобути більш ніж за два тижні, тобто швидкість майнінгу менша заданої, тоді алгоритм знижує рівень складності майнінгу і збільшує його швидкість до заданого рівня.

У короткостроковому періоді коливання реальної швидкості майнінгу є неминучими. Швидкість може збільшуватися, якщо **зростає хешрейт мережі**, тобто, якщо до неї підключаються додаткові вузли зі своїми обчислювальними потужностями або впроваджуються більш швидкодіючі процесори. Якщо ж внаслідок різних факторів (наприклад, заборона роботи майнерів у Китаї) велика кількість вузлів відключаються і хешрейт мережі падає, то швидкість майнінгу сповільнюється.

Хешрейт (*hashrate*) – це обчислювальна потужність пристроїв або мережі пристроїв, що виражається в швидкості генерування ними хешів (значень хеш-функцій).

Хешрейт вимірюється в одиницях швидкості: кількість хеш на секунду. Наприклад, 16.05.2021 хешрейт мережі системи Біткоіна досяг одного зі своїх піків – 179 EH/s (екзохешів на секунду). З огляду на середній час T між здобутими блоками за останні 24 години і поточний рівень складності D , розрахункова швидкість хешування в секунду визначається за формулою $H = 2^{32} D / T$.

Для гасіння відхилень швидкості майнінгу від її цільового значення в систему вбудований механізм перерахунку рівня складності майнінгу.

Яким чином це реалізовано?

Складність (*Bitcoin Difficulty – d*) – це чисельний параметр, що відображає кількість необхідної роботи майнера для знаходження правильного хешу нового блоку, що забезпечує прийняття блоку системою Біткоіна.

Технічно величина параметра складності впливає на значення цільового хешу (*target hash*). Цільовий хеш ділить множину всіх можливих хешів на дві частини: якщо знайдений в процесі майнінгу хеш менший цільового, він є підходящим, і система приймає блок зі знайденим хешем. Якщо згенерований хеш більше цільового, то система відкидає його, і процес майнінгу триває.

Чим вищий параметр складності, тим менша ймовірність, що довільний знайдений хеш виявиться "правильним", і тим довшою в середньому процедура перебору хешів. Тобто зростання параметра складності відображає зростання трудомісткості і тривалості процедури майнінгу.

На рис. 2 запропоновано схему, яка пояснює ці взаємозв'язки.

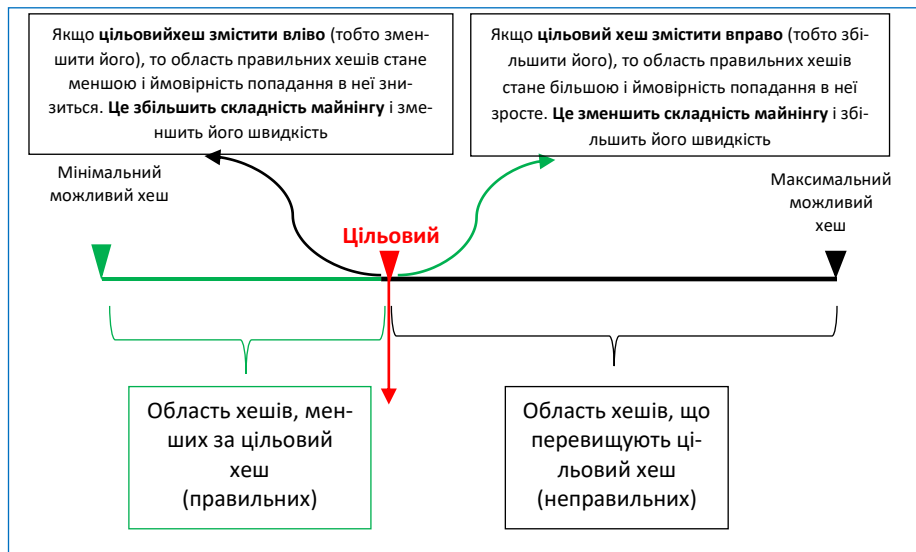


Рисунок 2. Ілюстрація застосування цільового хешу для керування параметром складності майнінгу біткоїнів

Джерело: ілюстрація розроблена автором статті в методичних цілях.

Кожні 14 днів алгоритм Біткоїна перевіряє реальну швидкість генерування блоків у мережі на її відхилення від цільової швидкості V (1 блок за 10 хвилин) і розраховує параметр d_N (**New Difficulty**) за формулою:

$$d_N = d_C \cdot \frac{T}{T_R} = d_C \cdot \frac{20160}{T_R},$$

де T – цільовий час генерування 2016 блоків; він дорівнює 20160 хвилинам, оскільки цільова швидкість – 1 блок за 10 хвилин; T_R – реальний час у хвилинах генерування мережею чергових 2016 блоків; d_C – значення параметра складності мережі Біткоїна на момент перевірки.

Якщо $\frac{20160}{T_R} < 1$, тобто $T_R > 20160$, то рівень складності підвищується за формулою (5).

Якщо навпаки, $\frac{20160}{T_R} > 1$, тобто $T_R < 20160$, то рівень складності відповідно знижується. Після знаходження необхідного значення параметра складності розраховується необхідний цільовий хеш і вбудовується в алгоритм системи.

Таким чином, цільовий хеш відіграє роль перемикача швидкості емісії нових монет у системі Біткоїна.

На основі наданої інформації про внутрішні механізми саморегулювання емісії в системі Біткоїн, а також про монетарні правила зі сфери монетарної економіки розглянемо питання про монетарне правило системи Біткоїн.

Загальний обсяг M випущених біткоїнів на нескінченному горизонті часу розраховується зі співвідношення:

$$M = 210000 \sum_{i=1}^{\infty} b_i = 210000 (50 + 25 + 12,5 + 6,25 + \dots) = 210000 \cdot S,$$

де S – сума нескінченно спадної геометричної прогресії, в якій $b_1 = 50$, знаменник прогресії $q = \frac{1}{2}$, тобто

$$S = \sum_{i=1}^{\infty} b_i,$$

де $b_1 = 50$, $b_{i+1} = q \cdot b_i$, $q = \frac{1}{2}$,

тобто

$$S = \sum_{i=1}^{\infty} b_i = \frac{b_1}{1-q} = \frac{50}{1-0,5} = 100.$$

Таким чином, граничний обсяг всієї емісії криптовалюти біткоіна (будемо його умовно називати "обсяг грошової маси") M на нескінченному горизонті дорівнюватиме 21 000 000 BTC:

$$M_{\infty} = 210000 \cdot S = 210000 \cdot 100 = 21\,000\,000 \text{ BTC}$$

Загальна кількість емісії біткоінів на 12.08.2021 становила 18 784 087,5 BTC.

Для визначення монетарного правила, за яким працює саморегулюючий механізм децентралізованої емісії біткоіна, знайдемо функцію $M(t)$, яка в аналітичному вигляді описує щорічну динаміку грошової маси.

Через кожні 210000 блоків винагорода майнерам за блок зменшується вдвічі. Це означає, що швидкість емісії нових монет на інтервалі між моментами халвінгу T_1, T_2, T_3, \dots , а значить, і кут нахилу відповідного лінійного графіка до осі абсцис зменшується в порівнянні з попереднім відрізком часу. Тобто функцію $M(t)$ можна відобразити у вигляді *лінійного сплайну* (рис. 3).

Лінійний сплайн – це шматково-лінійна функція, область визначення якої розбита на інтервали, на яких відповідний "шматок" функції є поліномом першого ступеня (лінійну функцію), а вся функція "склеєна" на межах інтервалів з цих поліномів з різними коефіцієнтами.

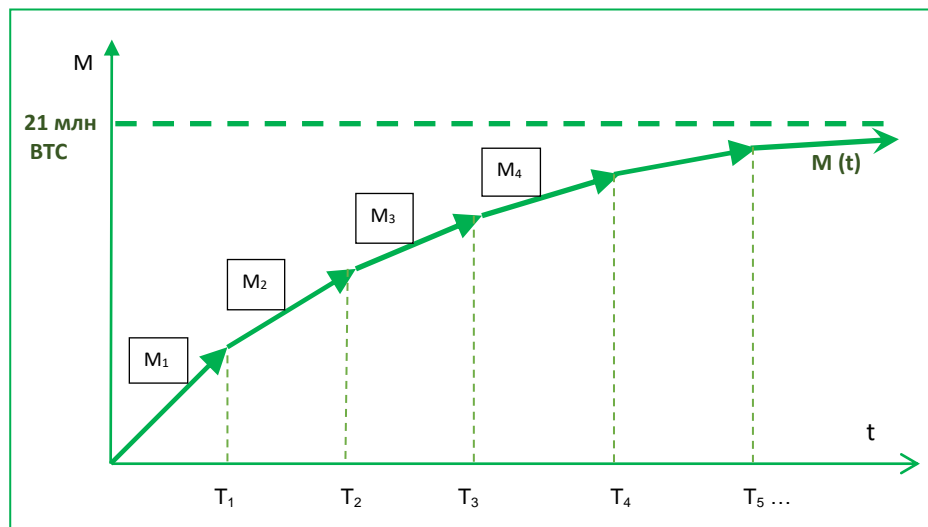


Рисунок 3. Сплайн-функція $M(t)$, що описує динаміку емісії біткоінів і обсягу грошової маси на нескінченному горизонті часу

Джерело: ілюстрація розроблена автором статті.

Використання сплайн-функцій, "склеєних" з поліномів різного ступеня, широко розповсюджені в прикладній математиці для проектування систем автоматизованого управління.

Для саморегулювання процесу децентралізованої емісії біткоїнів і забезпечення оптимальної динаміки грошової маси використана сплайн-функція, "склеєна" з поліномів першого порядку. Вона складається з відрізків лінійних функцій $M_j(t)$ для кожного періоду часу $T_{j-1}; T_j$, де $j \in [1, \infty)$.

Точки T_1, T_2, T_3, \dots – це моменти часу халвінгу, тобто точки перемикавання режиму емісії нових монет на зменшену вдвічі винагороду майнерам.

$M_j(t)$ відображає динаміку емісії упродовж генерування майнерами чергових 210000 блоків. У середині кожного часового відрізка між халвінгами $[T_{j-1}; T_j]$, розмір винагороди b_j майнерами за кожен новий блок підтримується на постійному рівні.

Розмір винагороди b_j на наступному відрізку після халвінгу в два рази менший від попереднього:

$$b_j = \frac{b_{j-1}}{2}$$

Кут нахилу кожного відрізка $M_j(t)$ сплайн-функції $M(t)$ до осі абсцис, тобто швидкість емісії біткоїни, визначається значенням b_j величини винагороди майнерам:

$$b_1 = 50 \text{ BTC}, \quad b_2 = 25 \text{ BTC}, \quad b_3 = 12,5 \text{ BTC}, \quad b_4 = 6,25 \text{ BTC} \dots$$

і швидкістю генерування блоків $V(t)$.

Тобто

$$M_j(t) = b_j \cdot V_j(t) \cdot t, \quad t \in [T_{j-1}; T_j] \quad (1)$$

де b_j – величина винагороди майнеру за один згенерований блок в блокчейні на j -му відрізку; $V_j(t)$ – кількість блоків, здобутих за рік t на проміжку $[T_{(j-1)}; T_j]$.

Згідно з протоколом Біткоїна, щорічна швидкість генерування блоків повинна підтримуватися на рівні 1 блок за 10 хвилин, тобто

$$V(t) = \text{const} = V,$$

тобто $V = 6$ блоків на годину, або 144 блоки на день, або 52560 блоків на рік, тоді період T між халвінгами має бути:

$$T = \frac{210000 \text{ блоків}}{V \text{ блоків/рік}} = \frac{210000}{52560} = 3,995 \cong 4 \text{ роки.}$$

У реальності найчастіше ця швидкість трохи вища або нижча. Це перевіряється алгоритмом кожні 2016 блоків (в середньому кожні два тижні), і в разі необхідності перераховується складність генерування блоків для повернення швидкості емісії нових монет до цільового рівня. Відповідно, реальний період між халвінгами незначно відхиляється від значення $T = 4$ роки:

- на першому проміжку 3.01.2009 – 28.11.2012 до перемикавання винагороди за блок з 50 BTC на 25 BTC швидкість видобутку блоків становила 53 827,25 блоків на рік, тобто проміжок до халвінгу становив 3,9 року;

- на другому проміжку 28.11.2012 – 9.07.2016 при перемиканні з 25 BTC на 12,5 BTC він тривав 3,61 року;

- на третьому проміжку 9.07.2016 – 11.05.2020 при перемиканні з 12,5 BTC на 6,25 BTC він становив 3,88 року;

- наступний халвінг і зниження рівня винагороди майнерам з 6,25 BTC на 3,125 BTC за блок, тобто перемикання режиму емісії відбудеться приблизно в кінці лютого 2024 року. Зараз (9.08.2021 року) винагорода майнерам становить 6,25 BTC за блок, в блокчейні вже 695058 блоків, до халвінгу залишилося згенерувати 144944 блоки.

Сплайн-функція, що описує грошову масу $M(t)$ задається сукупністю "склеєних" лінійних функцій на інтервалах, межами яких є точки перемикання режиму емісії, тобто моменти часу, в які відбувається халвінг (рис. 4).

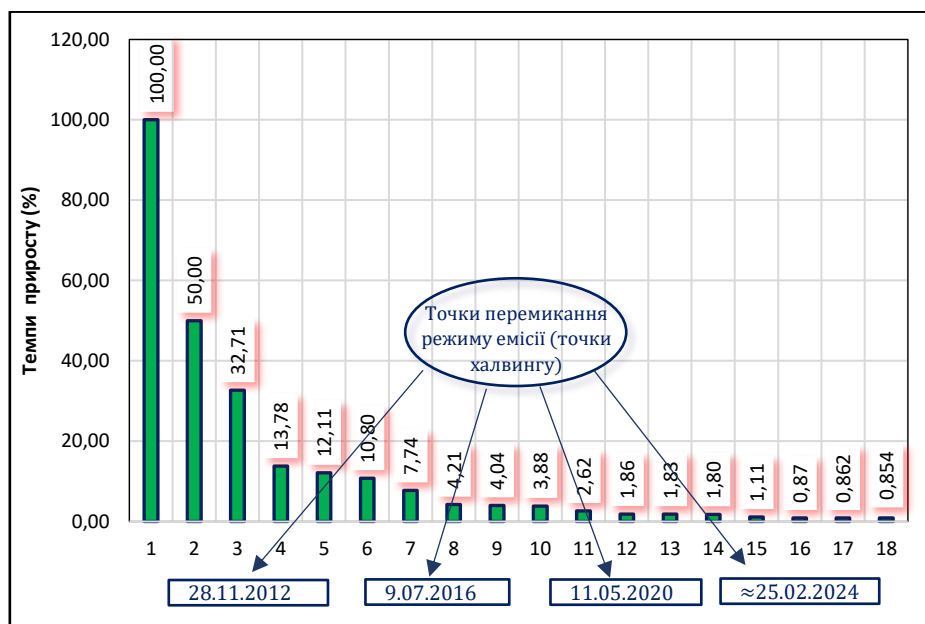


Рисунок 4. Динаміка щорічних темпів приросту грошової маси біткоїїв $m(t)$ 2010–2028 роках

Джерело: графік розроблений автором на основі аналізу алгоритму системи Біткоїн.

$$M(t) = \begin{cases} b_1 \cdot V(t) \cdot t, & 0 < t < T_1 \\ 210000 \cdot b_1 + b_2 \cdot V(t) \cdot t, & T_1 \leq t < T_2 \\ 210000(b_1 + b_2) + b_3 \cdot V(t) \cdot t, & T_2 \leq t < T_3 \\ 210000(b_1 + b_2 + b_3) + b_4 \cdot V(t) \cdot t, & T_3 < t \leq T_4 \\ \dots \\ (210000 \sum_{j=1}^{K-1} b_j) + b_K \cdot V(t) \cdot t, & T_{K-1} < t \leq T_K \\ \dots \end{cases} \quad (2)$$

Цю сплайн-функцію динаміки обсягу грошової маси біткоїнів можна записати в аналітичному вигляді таким чином:

$$M(t) = (210000 \sum_{j=1}^{K-1} b_j) + b_K \cdot V_K \cdot (t - T_{K-1}), \quad (3)$$

де t – відповідний момент часу, $t > T_K$, T_K – найближча точка халвінгу, що передує моменту t .

Для розрахунку монетарного правила, на якому будується емісія біткоїнів, необхідно отримати в явному вигляді функцію щорічного приросту грошової маси біткоїнів $m(t)$:

$$m(t) = \frac{\Delta M(t)}{M(t)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $\Delta M(t) = M(t) - M(t-1)$.

Це співвідношення, закладене в алгоритмі Proof-of-Work і блокчейна системи Біткоїна, визначає на всьому горизонті емісії рівень щорічного приросту грошової маси. Його можна назвати **монетарним правилом Накамото**.

$$m(t) = \frac{b_K \cdot V_K}{(210000 \sum_{j=1}^{K-1} b_j) + b_K V_K (t - 1 - T_{K-1})} \cdot 100\% \quad (5)$$

де $t > T_{K-1}$; b_K – винагорода майнерам (BlockReward) за генерування одного блока після халвінгу в точці T_{K-1} ; T_{K-1} – точка халвінгу, що безпосередньо передує моменту часу t .

Аналітичне представлення (5) функції $m(t)$ дає формулу для розрахунку щорічних темпів приросту грошової маси, закладених протоколом блокчейна системи Біткоїна.

Функція $m(t)$ – це сплайн-функція, "склеєна зі шматочків" відповідних гіпербол в точках халвінгу, що визначають перемикання режиму емісії. Чисельні значення $m(t)$ до 2025 року представлені на графіку (рис. 4)

Висновки

Формула (5), отримана в явному аналітичному вигляді, дозволяє проводити дослідження блокчейна системи Біткоїна як монетарного феномена і проводити імітаційне моделювання параметрів емісії при розробленні нових блокчейнів для цифрових валют. Монетарне правило Накамото можна розглядати як перший приклад програмованого монетарного правила, закладеного в алгоритмі децентралізованої емісії в системі блокчейна.

Центральні банки можуть використовувати аналогічний підхід з необхідними модифікаціями для розроблення своїх програмованих монетарних правил і технології DLT для емісії цифрових валют центральних банків (CBDC).

Література

1. Цукарев Т. (2009). Генезис правил монетарной политики центральных банков. *Вестник Национального банка Беларуси*. Минск.
2. Business of Apps (2021). Facebook Revenue and Usage Statistics. URL: <https://www.businessofapps.com/data/facebook-statistics/>
3. Data for market cup of bitcoin. (2021). URL: <https://finance.yahoo.com/cryptocurrencies> и др.
4. Diem (2020). URL: <https://www.diem.com/en-us/white-paper/?noredirect=RU#the-libra-payment-system>
5. Diem (2021). URL: <https://www.diem.com/en-us/white-paper/?noredirect=RU#the-libra-payment-system>
6. FINMA (2021). URL: <https://www.finma.ch/en>

7. Friedman M. (1990). The Collected Works of Milton Friedman, compiled and edited by Robert Leeson and Charles G. Palm
8. Friedman M. A. (1960). Programm for Monetary Stability. New York: Fordham University Press.
9. G7 Working Group on Stablecoins. (2019). Report "Investigating the impact of global stablecoins". Retrieved from <https://www.bis.org/cpmi/publ/d187.pdf>
10. Goodhart Ch. (1989). The Conduct of Monetary Policy. *The Economic Journal*, Vol. 99. No 396, Oxford University Press. <https://doi.org/10.2307/2234028>
11. Hayek F.A. (1990). Denationalization of Money: The Argument Refined. An Analysis of the Theory and Practice of Concurrent Currencies. The Institute of Economic Affair.
12. Hearing before the task force on financial technology of the committee on Financial Services U.S. House of representatives One Hundred Sixteenth Congress first session (June 25, 2019). Overseeing the FinTech revolution: domestic and international perspectives on FinTech regulations. Serial No 116-36. Committee on Financial Services U.S. House of Representatives, 116 Congress, First Session
13. Koivu T., Mehrotra A., Nuutilainen R. (2008). McCallum rule and Chinese monetary policy. Bank of Finland, BOFIT Institute for Economies in Transition, Discussion Papers. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1304586>
14. Laurence B. (1997). Efficient Rules for Monetary Policy. *National Bureau of Economic Research, Inc.* Working Paper.
15. McCallum B. T. (1988). Robustness properties of a rule for monetary policy. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. Vol. 29. P. 173-203. [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(88\)90011-5](https://doi.org/10.1016/0167-2231(88)90011-5)
16. Metcalfe B. (2013). Metcalfe's Law after 40 Years of Ethernet. *Computer*. Vol. 46, No. 12. <https://doi.org/10.1109/MC.2013.374>
17. Nakamoto S. (2008). White Paper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
18. NakamotoS. (2008). Письмо с комментарием к Whitepaper. Retrieved from <https://www.metzdowd.com/pipermail/cryptography/2008-November/014814.html>
19. NakamotoS. etal. (2008–2010). Полная переписка Сатоши Накамото с коллегами по совершенствованию системы Биткоина. Retrieved from <https://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/threads/1/>
20. Renteria N., Wilson T., Strohecker K. (2021). "In a world first, El Salvador makes bitcoin legal tender". URL: <https://www.reuters.com/world/americas/el-salvador-approves-first-law-bitcoin-legal-tender/2021-06-09/>
21. Taylor J.B. (2000). Using Monetary Policy Rules in Emerging Market Economies, 75th Anniversary Conference "Stabilization and Monetary Policy: The International Experience". Bank of Mexico. [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(93\)90009-L](https://doi.org/10.1016/0167-2231(93)90009-L)
22. Taylor J.B. (December, 1993). Discretion versus Policy Rules in Practice. *Carnegie Rochester Conference Series on Public Policy*, 39.
23. Tobin J. (May 29-31, 1985). Financial Innovation and Deregulation Perspective. Keynote Paper presented at the Second International Conference of the Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, Tokyo.
24. Wiksell K. (1936). Interests and Prices. A Study of Causes Regulating the value of Money. USA by Centry Press, New York.

Надходження до редакції 07 вересня 2021

Прорецензовано 20 вересня 2021

Підписано до друку 30 вересня 2021

References

1. Tsukarev, T. (2009). The genesis of the rules of monetary policy of central banks. *Vestnik Nacionalnogo banka Belarusi. – Bulletin of the National Bank of Belarus [in Russian]*.
2. Business of Apps (2021). Facebook Revenue and Usage Statistics. Retrieved from <https://www.businessofapps.com/data/facebook-statistics/>
3. Data for market cup of bitcoin. (2021). Matching Cryptocurrencies. Retrieved from <https://finance.yahoo.com/cryptocurrencies>
4. Diem (2020). The Libra Payment System. Retrieved from <https://www.diem.com/en-us/white-paper/?noredirect=ru-RU#the-libra-payment-system>

5. Diem (2021). Blockchain Libra. Retrieved from <https://www.diem.com/en-us/white-paper/?noredirect=ru-RU#the-libra-payment-system>
6. FINMA (2021). Swiss Financial Market Supervisory Authority FINMA. Retrieved from <https://www.finma.ch/en>
7. Leeson, R. and Palm, Ch. G. (Eds.). (2018). The Collected Works of Milton Friedman. Hoover Institution Library and Archives.
8. Friedman, M. A. (1960). Programm for Monetary Stability. New York: Fordham University Press.
9. G7 Working Group on Stablecoins (2019). Report "Investigating the impact of global stablecoins". Retrieved from <https://www.bis.org/cpmi/publ/d187.pdf>
10. Goodhart, Ch. (1989). The Conduct of Monetary Policy. *The Economic Journal*, 99: 396. <https://doi.org/10.2307/2234028>
11. Hayek, F.A. (1990). Denationalization of Money: The Argument Refined. An Analysis of the Theory and Practice of Concurrent Currencies. The Institute of Economic Affairs.
12. Hearing before the task force on financial technology of the committee on Financial Services U.S. House of representatives One Hundred Sixteenth Congress first session (June 25, 2019). Overseeing the FinTech revolution: domestic and international perspectives on FinTech regulations. Serial No 116-36. Committee on Financial Services U.S. House of Representatives, 116 Congress, First Session.
13. Koivu, T., Mehrotra, A., Nuutilainen, R. (2008). McCallum rule and Chinese monetary policy. *Bank of Finland, BOFIT Institute for Economies in Transition, Discussion Papers*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1304586>
14. Laurence, B. (1997). Efficient Rules for Monetary Policy. *National Bureau of Economic Research, Inc. Working Paper*.
15. McCallum, B. T. (1988). Robustness properties of a rule for monetary policy. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 29, 173-203. [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(88\)90011-5](https://doi.org/10.1016/0167-2231(88)90011-5)
16. Metcalfe, B. (2013). Metcalfe's Law after 40 Years of Ethernet. *Computer*, 46: 12. <https://doi.org/10.1109/MC.2013.374>
17. Nakamoto, S. (2008). White Paper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
18. Nakamoto, S. (2008). A letter with a comment to Whitepaper. Retrieved from <https://www.metzdowd.com/pipermail/cryptography/2008-November/014814.html>
19. Nakamoto S. et al. (2008-2010). Full correspondence of Satoshi Nakamoto with colleagues on improving the Bitcoin system. Retrieved from <https://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/threads/1/>
20. Renteria, N., Wilson T., Strohecker K. (2021). In a world first, El Salvador makes bitcoin legal tender. Retrieved 2021-06-09 from <https://www.reuters.com/world/americas/el-salvador-approves-first-law-bitcoin-legal-tender/>
21. Taylor, J.B. (2000). Using Monetary Policy Rules in Emerging Market Economies, 75th Anniversary Conference "Stabilization and Monetary Policy: The International Experience". Bank of Mexico.
22. Taylor, J.B. (December, 1993). Discretion versus Policy Rules in Practice. *Carnegie Rochester Conference Series on Public Policy*, 39. [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(93\)90009-L](https://doi.org/10.1016/0167-2231(93)90009-L)
23. Tobin, J. (May 29-31, 1985). Financial Innovation and Deregulation Perspective. Keynote Paper presented at the Second International Conference of the Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, Tokyo.
24. Wiksell, K. (1936). Interests and Prices. A Study of Causes Regulating the value of Money. USA by Centry Press, New York.

Received September 7, 2021

Reviewed September 20, 2021

Signed for printing on September 30, 2021