

МАКРОЭКОНОМИКА

УДК: 33.339.7

JEL: E44, E51

Татьяна Унковская

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ ЭМИССИЯ В БЛОКЧЕЙНЕ БИТКОИНА И МОНЕТАРНОЕ ПРАВИЛО НАКАМОТО

В статье с помощью математического моделирования исследованы свойства блокчейна биткоина как нового глобального феномена с точки зрения монетарной экономики, требующего осмысления с точки зрения экономической теории – саморегулирующейся системы децентрализованной эмиссии без участия органа монетарной власти. Проанализированы параметры системы Биткоина, задающие динамику саморегулирующегося эмиссионного механизма, работающего в пиринговой компьютерной сети, и обеспечивающего плавный рост "денежной массы" с постепенно снижающимися темпами и переходом в долгосрочном периоде в предельное состояние – заранее заданный объем (21 млн BTC). Саморегулирование реализуется через отрицательную обратную связь между изменением управляющих параметров и скоростью майнинга биткоина. Управляющими параметрами являются целевой интервал значений хеш-функции и уровень сложности майнинга биткоинов (Bitcoin Difficulty), который определяется в зависимости от отклонений реальной скорости майнинга от целевого значения. Это обеспечивает поддержание постоянной скорости майнинга и устойчивые темпы эмиссии.

Автор предложил сплайн-функцию, описывающую ежегодное увеличение эмиссии криптовалюты в соответствии с протоколом Proof-of-Work в алгоритме блокчейна Биткоина. Эта сплайн-функция позволила установить монетарное правило, определяющее ежегодные темпы эмиссии. В статье предлагается назвать это монетарное правило по имени разработчика системы Биткоина – монетарное правило Накамото. Монетарное правило Накамото можно рассматривать как первый пример программируемого монетарного правила, заложенного в алгоритме децентрализованной эмиссии на основе технологии блокчейна. Центральные банки могут использовать аналогичный подход с необходимыми модификациями для разработки своих программируемых монетарных правил на основе технологии DLT или блокчейна для эмиссии цифровых валют центральных банков (CBDC).

Ключевые слова: цифровые валюты центральных банков, CBDC, блокчейн, биткоин, криптовалюта, цифровые валюты, центральные банки, децентрализованная эмиссия, монетарное правило.

DECENTRALIZED ISSUES IN BITCOIN BLOCKCHAIN AND NAKAMOTO MONETARY RULE

Tetiana Unkovska (unkovska@yahoo.com.ua) Doctor of Economics Sci., Research&Development Director, Institute for Innovation Development INTENS.

Унковская Татьяна Евгеньевна (unkovskaya@ukr.net) д-р экон. наук, директор по исследованиям Института развития инноваций INTENS.

Цитирование: Унковская Т. Е. Децентрализованная эмиссия в блокчейне биткоина и монетарное правило Накамото. *Экономическая теория*. 2021. № 3. С. 91–110.

© Т. Унковская, 2021

ISSN 1811-3133. *Экономическая теория*. 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. Возникновение системы Биткоина и других криптовалют

"Биткоин был создан специально для решения фундаментальной проблемы, присущей современным деньгам... Найдите время, чтобы понять систему Биткоина, а затем используйте эти знания для оценки монетарного пространства"

Parker Lewis,
бывший сотрудник Deutsche Bank,
автор книги "Gradually then Suddenly"

31 октября 2008 года была опубликована White paper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" (Nakamoto, 2008) под псевдонимом Satoshi Nakamoto с комментарием: "Я разрабатываю новую цифровую денежную систему, которая полностью является пиринговой¹ и не требует доверенной третьей стороны" (Nakamoto, 2008). Сначала статье заинтересовался только узкий круг специалистов-криптографов. Их переписка (Nakamoto и др., 2008–2010) с Сатоши Накамото содержит обсуждение технических вопросов и некоторых сомнений. Но 8 января 2009 года в очередном письме Сатоши Накамото объявил о запуске биткоина – Bitcoin v1.0 и отправил в публичное информационное пространство ссылку, по которой загружалась новая система, написанная как программа с открытым кодом.

Это стало спусковым механизмом, запустившим лавинообразное развитие децентрализованных криптовалют (на сегодня их существует более 10 тысяч) и криптоиндустрии на глобальном уровне, к которому присоединились не только крупные институциональные инвесторы, биржи

¹ Пиринговая, или одноранговая, система – это система, в которой участники взаимодействуют напрямую, без посредников или централизованного органа.

и платёжные системы, но и некоторые правительства. В частности, парламент Сальвадора принял закон об обращении биткоина в качестве официальной валюты в стране (*Renteria, Wilson, Strohecker, 2021*). На 3.09.2021 года капитализация глобального рынка биткоина составляла уже 947,99 млрд долл. США (*Data Yahoo finance, 2021*).

Все это стимулировало центральные банки и международные финансовые организации обратить серьёзное внимание на феномен глобального распространения криптовалют, который до сих пор полностью не осмыслен экономической наукой и вызывает ожесточённые споры.

Очевидно, что игнорирование этого феномена или попытки его запрета на уровне государственного регулирования не являются хорошей стратегией. Игнорирование привело бы к тому, что центральные банки постепенно отстали в гонке цифровых технологий, утратили новые возможности и серьёзное влияние на денежную сферу. В этом случае могли бы обостриться риски перехода фиатных валют на второстепенные роли в национальных экономических системах со всеми вытекающими системными рисками. А полный запрет глобальных децентрализованных криптовалют, во-первых, невозможно осуществить технически, во-вторых, чреват ещё большим разрастанием нерегулируемого цифрового финансового сектора с взрывным ростом технологических инноваций, обходящих запреты.

Поэтому центральные банки и международные финансовые регуляторы выбрали разумную стратегию адаптации к новой реальности и активного участия в формировании рынка цифровых валют и денег будущего. Они занялись глубокими исследованиями новых рисков и новых возможностей, которые возникают в связи с бурным развитием криптовалют и криптоиндустрии, и сконцентрировали усилия на создании цифровых валют центральных банков (*CBDC – Central Bank Digital Currency*).

Особенную тревогу у центральных банков и регуляторов вызывает непрогнозируемое развитие глобальных стейблкоинов (*G7 – Global Stablecoins*), претендующих на замещение в будущем мировых резервных валют.

Глобальные стейблкоины – это криптовалюты, которые для снижения их волатильности привязаны к биржевым товарам или традиционным валютам центральных банков, и имеют свойства, стимулирующие их глобальное распространение.

Обычно стейблкоины функционируют в финансовой экосистеме, которая обеспечивает их ключевые функции:

- эмиссия, выкуп и стабилизация стоимости стейблкоинов;
- транзакции между пользователями стейблкоинов;
- взаимодействие с пользователями, то есть поддержание функционирования интерфейса.

Как правило, каждая функция обеспечивается определёнными операционными структурами (управляющим органом, биржами, операторами платёжных систем) и базовыми технологиями – DLT, в частности блокчейном, смарт-контрактами и другими инструментами.

Согласно аналитическому докладу "Investigating the impact of global stablecoins" (*G7 Working Group on Stablecoins, 2019*), подготовленному совместно G7, IMF и BIS, глобальные стейблкоины, с одной стороны, могут способ-

ствовать упрощению и повышению доступности финансовых ресурсов и системы трансграничных платежей, а с другой – могут обострить риски для:

- законности проведения транзакций, контроля за отмыванием денег и финансированием терроризма;
- безопасности, эффективности и целостности платёжной системы;
- прозрачности инвестиционных правил и защиты прав инвесторов и потребителей;
- кибербезопасности и операционной устойчивости;
- защиты персональных данных;
- прозрачности уплаты налогов;
- монетарной и финансовой стабильности;
- устойчивости глобальной монетарной системы;
- честной конкуренции.

Авторы доклада обратились к правительствам, центральным банкам и государственным агентствам с предложением реализовывать ответственные взвешенные подходы к внедрению инноваций в платёжных и монетарных системах.

Кроме предупреждения о рисках, в докладе было опубликовано такое обращение:

"Мы призываем центральные банки, министерства финансов, органы, которые устанавливают стандарты, такие как СРМІ и соответствующие международные организации, разработать дорожные карты для повышения эффективности и снижения стоимости платежей и финансовых услуг. Кроме того, центральным банкам целесообразно продолжать обмен знаниями и опытом по возможным решениям для совершенствования монетарных и платёжных систем. Необходима активизация коллективных и индивидуальных усилий центральных банков по оценке возможностей запуска проектов **цифровых валют центральных банков (CBDC)** в соответствующих юрисдикциях с учётом всех рисков и необходимых мер по их предотвращению".

Особенно острый сигнал, подтолкнувший к выбору этого пути, прозвучал в середине 2019 года. Ассоциация Libra устами главы компании Facebook Марка Цукерберга официально объявила о своём плане по запуску глобального стейблкоина Libra (*Association Diem, 2021*), привязанного к корзине резервных валют. В своём документе *White Paper* от 18.06.2019 года Ассоциация объяснила детали и сроки запуска этой валюты. Кроме того, был опубликован достаточно солидный состав Ассоциации Libra на тот 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.

Было ясно, что замысел Libra, учитывая 2,8 миллиардов (*Business of Apps, 2021*) активных пользователей Facebook, которые могли бы обеспе-

чить **взрывной сетевой эффект** её распространения, существенно отличается от других стейблкоинов и может серьезно повлиять на позиции мировых резервных валют и глобальную финансовую архитектуру. Это вызывало серьезную обеспокоенность.

Сетевой эффект – это экономический эффект зависимости роста ценности актива для потребителя от количества других потребителей, которые им пользуются.

Например, сетевые эффекты влияют на ценность валют, а также таких товаров, как телефоны или другие товары и услуги, связанные с взаимодействием людей.

Сетевой эффект описывается **законом Меткалфа** (*Metcalfе*, 2013), который утверждает, что ценность сетевого актива пропорциональна квадрату количества его пользователей:

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

где p – ценность актива для пользователей; n – количество пользователей.

Если в эту формулу подставить количество активных пользователей Facebook, то очевидно, что ценность стейблкоина этой социальной сети могла бы превзойти самые смелые оценки.

В ответ на заявление Ассоциации Libra прозвучала серия публичных выступлений официальных лиц центральных банков и международных финансовых организаций по поводу глобальных рисков запуска цифровой валюты Libra. 25 июня 2020 года Конгресс США провёл слушания "Overseeing the FinTech revolution: domestic and international perspectives on FinTech regulations" (*U.S. Congressional Hearing*, 2019), посвящённые этому вопросу, после которых планы Ассоциации Libra трансформировались.

1 декабря 2020 года в официальном пресс-релизе Ассоциация объявила о ребрендинге (*Association of Diem*, 2020), изменении ключевых руководителей и принятии нового названия – **Diem Association**. В релизе Ассоциация заверила, что будет действовать только после одобрения регуляторов, в частности, получения лицензий FINMA.

Все эти события, а также форс-мажорные условия пандемии, переход многих видов деятельности в онлайн и ускорение процессов цифровизации экономики стали мощным толчком для центральных банков сконцентрировать внимание на дополнительных исследованиях технологий DLT, блокчейна и криптоиндустрии, и развитии своих цифровых валют.

2. Почему возникли децентрализованные криптовалюты

Идея создания децентрализованной цифровой денежной системы, независимой от органов государственной власти или банковских посредников, владела умами многих интеллектуалов и сообществ задолго до 2008 года. Система, в которой каждый, имеющий золото, мог, по сути, эмитировать деньги, а бумажные валюты имели под собой золотую основу, существовала давно и прекратила своё существование только с концом классического золотого стандарта. Такая система и сегодня представляется многим сторонникам золотого стандарта, как соединение финансовой свободы и финансовой стабильности.

С точки зрения экономической науки, идеи децентрализованных денег, частных криптовалют и цифровых валют центральных банков для физических лиц не являются новыми. Новизна состоит в технических инструментах

реализации этих идей. Ещё в 1986 году лауреат Нобелевской премии Фридрих Хайек опубликовал книгу "Денационализация денег" (*Nauek*, 1990), в которой он критикует монополию центральных банков на денежную эмиссию и предлагает внедрение децентрализованной монетарной системы.

Что касается модели "деньги центрального банка – конечный потребитель", эту идею ещё в 1985 году опубликовал известный экономист Джеймс Тобин (*Tobin*, 1985) в статье "Финансовые инновации и будущее дерегулирование".

Особенно резко тяга к децентрализованным сетевым деньгам просыпалась во времена катастрофических сбоев традиционной денежной системы, проявляющихся в гиперинфляции, финансовых кризисах и валютных крахах. Это подстегивалось осознанием обескураживающей беспомощности центральных банков и МВФ в противодействии валютным коллапсам и обнищанию огромной массы людей. Ещё в 1990-х годах после катастрофического финансового кризиса в Юго-Восточной Азии активизировались попытки интеллектуалов в разных странах разработать цифровые децентрализованные деньги, которые могли бы генерироваться и распространяться внутри сообществ, а криптографические инструменты общественного консенсуса заменили бы собою центральный банк и органы регулирования. Но несмотря на то, что уже тогда существовали развитые криптографические методы и ИТ-технологии, оставалось много нерешённых технических вопросов, препятствующих воплощению этой идеи в реальность.

Инновационный прорыв системы "цифрового золота" Сатоши Накамото состоит в том, что он с гениальной элегантностью и простотой соединил в одно целое три разные идеи, существовавшие ранее в различных областях:

- асимметричные криптографические методы,
- распределённые базы данных и распределённый реестр, блокчейн,
- принцип децентрализованных частных цифровых денег.

В этой статье предлагается аналитический подход к исследованию монетарного правила децентрализованной эмиссии в системе блокчейна Биткойна.

3. Монетарные правила и децентрализованная эмиссия биткойна

Система Биткойн представляет собой глобальный и принципиально новый феномен с точки зрения монетарной экономики – саморегулирующуюся систему децентрализованной эмиссии цифровых активов (биткойнов) без участия центрального эмиссионного органа.

Внутренние параметры этой системы настроены и закреплены в программном коде таким образом, что обеспечивают устойчивую и стабильную работу механизма децентрализованной эмиссии. **Этот саморегулирующийся эмиссионный механизм, работающий в пиринговой компьютерной сети, обеспечивает плавный рост "денежной массы" с постепенно снижающимися темпами и переходом в долгосрочном периоде в предельное состояние – заранее заданный объем (21 млн BTC).**

Архитектором системы Биткойна, которого мы знаем под псевдонимом Сатоши Накамото, создана глобально работающая децентрализованная компьютеризированная система, основанная на блокчейне, имитирующая ресурсоёмкий процесс постепенной добычи человечеством зо-

лота. При этом в систему встроены имитационные аналоги естественных ограничений добычи золота по скорости и объёму. Эти аналоги способствовали закреплению за биткоином его неформального названия – "цифровое золото".

В своей ранней переписке Сатоши Накамото так раскрыл свой замысел: "В качестве мыслительного эксперимента представьте, что существует базовый металл, столь же редкий, как золото, но со следующими свойствами: скучный серый цвет, плохая проводимость электричества, низкий уровень прочности..., бесполезный для каких-либо практических или декоративных целей... но он обладает одним особенным, магическим свойством: его можно передавать по каналам связи".

Многими известными в мире экономистами на протяжении истории центральных банков и фиатных валют предлагались различные ограничители эмиссии денег – монетарные правила как некий мягкий, виртуальный аналог золотого стандарта.

Монетарные правила – это заранее установленные правила или формулы, регламентирующие выбор инструментов монетарной политики, изменения их величины и/или параметров денежной эмиссии.

Например, одним из наиболее известных и наиболее жёстких является **монетарное правило Милтона Фридмана** (*Friedman, 1960*), состоящее в том, что скорость увеличения объёма денег в обращении в долгосрочном аспекте не должна превышать темпы роста ВВП, а ежегодный прирост денежной массы должен находиться в пределах **3–5%**.

Существует целый ряд монетарных правил, обладающих большей или меньшей гибкостью связи параметров денежной эмиссии и инструментов монетарной политики с инфляцией, темпами роста ВВП и другими показателями (табл. 1).

Интересно, что техническая архитектура системы Биткоина выстроена как **глобальная саморегулирующаяся децентрализованная система эмиссии денег, автоматически управляемая определенным монетарным правилом**, обладающим антиинфляционными характеристиками и свойствами быстрой адаптации к изменяющейся внешней среде.

Это правило можно назвать **монетарным правилом Накамото**.

В открытой литературе пока недостаточно исследований блокчейна и Proof-of-Work системы Биткоина с точки зрения монетарного смысла созданных механизмов, хотя такие исследования были бы весьма полезны для более глубокого понимания новых рисков и новых возможностей для глобальной финансовой системы, связанных с глобальным распространением биткоина. Поэтому этот подраздел посвящён именно таким исследованиям.

Систематизируем краткие сведения о традиционных монетарных правилах. Все многообразие подходов центральных банков к монетарной политике укрупненно можно разделить на **два вида**: дискреционный подход и подход, основанный на монетарных правилах.

1. Дискреционный подход к монетарной политике – это монетарная система, в которой центральный банк имеет полную свободу принятия стратегических и оперативных решений по управлению денежной массой и кредитными процессами. При таком подходе центральный банк дискреционно (*discretion* англ. – *свобода действий*) принимает и реализу-

ет решения, исходя из своего понимания текущей ситуации, имеющихся у него инструментов монетарного влияния и возможностей расширения этих инструментов.

Например, во многих странах многие центральные банки с 2008 года и до сих пор (вторым толчком стал кризис пандемии) применяют расширенные программы количественного смягчения (*Quantitative Easing, QE*) в качестве антикризисных мер для стимулирования экономического роста, недопущения дефляции и рецессии.

В таких странах, как Украина, свобода действий НБУ и дискреционная монетарная политика с 2014 по 2019 годы вылились в процессы, обратные по смыслу количественному смягчению – в демонетизацию реального сектора экономики через завышенные процентные ставки по депозитным сертификатам НБУ. Рациональность такой политики во время сильного экономического спада, беспрецедентного кредитного сжатия (когда отношение банковских кредитов для предприятий реального сектора к ВВП падало до катастрофического менее 15%) и последующей экономической стагнации сложно объяснить целями инфляционного таргетирования. Особенно, если инфляция имеет характер инфляции издержек.

Ясно, что дискреционный подход может хорошо работать только при высоком профессионализме монетарного регулятора и прочном доверии общества к разумности монетарной политики. В этом случае передача широких полномочий центральным банкам и их дискреционная политика может быть оправданной.

Однако мировая история экономических кризисов во многих случаях показывает серьёзные проблемы этого подхода. Поэтому существует и другой подход к проведению монетарной политики.

2. Второй подход – это проведение политики центрального банка, основанное на заранее определённых монетарных правилах. Среди специалистов (Цукарев, 2019) его необходимость обосновывается такими преимуществами:

1) устранение несогласованности политики центральных банков во времени, когда они запаздывают или слишком спешат с принятием и реализацией ключевых решений.

В этом контексте ещё в 70-х годах прозвучала известная аргументация лауреата Нобелевской премии Милтона Фридмана (*Friedman, 1965*) в пользу введения монетарных правил. Её смысл в том, что при изменении экономических условий центральные банки слишком долго ждут с принятием решений и опаздывают со своей реакцией, затем слишком сильно давят на газ, ввергая экономику в шок, а затем слишком сильно тормозят, разрушая экономические стимулы и внося дополнительные потрясения, когда лекарство становится хуже самой болезни. Из-за этого дискреционная политика центральных банков слишком дорого обходится обществу, поэтому нужны оптимальные монетарные правила, исключающие разрушительные ошибки и произвол денежных регуляторов;

2) более чёткие коммуникации и объяснение центральным банком своих решений обществу, что ведёт к большей прогнозируемости ожиданий и реакций рынка;

3) снижение рисков для бизнеса, которую вносит неопределённость монетарной политики;

4) более высокий уровень прозрачности и подотчётности центральных банков и большая чёткость критериев эффективности их работы, что повышает доверие к ним в случае успеха и вносит свой вклад в социальную стабильность;

5) повышение удобства в исследованиях на основании исторических сопоставлений и анализа монетарной политики центральных банков.

Приведём сводную таблицу основных известных монетарных правил и краткие пояснения (табл. 1).

Таблица 1

Основные монетарные правила в центральном банкинге

Название монетарного правила	Авторы и ссылки на разработки	Суть монетарного правила и необходимые формулы	Комментарии
Фиксированные монетарные правила (Fixed monetary rules)		Фиксируют регламент действий центрального банка через жесткое установление инструмента монетарной политики и его количественных параметров	
Монетарное правило Фридмена – правило постоянного темпа прироста денежной массы	Милтон Фридмен	Увеличение денежной массы в долгосрочном аспекте не должно превышать темпы экономического роста, а ежегодные темпы этого увеличения должны находиться в пределах 3-5% .	
Монетарное правило МакКаллума	МакКаллум Статьи (McCallum, B.T. Robustness, 1988); (Tuuli Koivu, Aaron Mehrotra and Riikka Nuutilainen, 2008)	$\Delta m = \Delta x^* - \Delta v^* - 0,5 \Delta x$ ($\Delta x - \Delta x^*$), где m – денежная база, x – номинальный ВВП, Δv – средний индекс роста скорости обращения денег	
Гибкие монетарные правила с обратной связью (Feedback monetary rules)		Определяют количественные параметры инструментов монетарной политики в зависимости от параметров внешней среды	
Правило процентной ставки Викселля	Кнут Викселль (Knut Wiksell, 1936, "Interest and Prices")	$\Delta i = \theta \pi$, где i — процентная ставка центрального банка; π — темп инфляции; $\pi = \Delta p$, где p – логарифм индекса цен; θ — положительный коэффициент ответной реакции центрального банка.	Кнут Викселль предложил это правило в 1898 г. Во время золотого стандарта он предсказал переход к чистому фиатному денежному стандарту.
Правило Тейлора	Джон Тейлор (J.V. Taylor,	Процентная ставка должна увеличиваться	

Название монетарного правила	Авторы и ссылки на разработки	Суть монетарного правила и необходимые формулы	Комментарии
	1993), (J.V. Taylor, 2000).	или снижаться в зависимости от отклонения уровня цен или объема ВВП от своих равновесных уровней: $i - i^* = \theta\pi (\pi - \pi^*) + \theta y (y - y^*)$ Классический вариант: $i = 2 + \pi + 0,5(\pi - 2) + 0,5(y - y^*)$	
Правило Чарльза Гудхарта для монетарной политики Банка Англии	Чарльз Гудхарт (Charles Goodhart, 1989)	$i = 0,03 + 1,5\pi,$ где π — темп инфляции, а равновесная номинальная процентная ставка равна 3%.	Частный случай монетарного правила Тейлора
Монетарное правило Болла (Ball Monetary Rule)	Лоуренс Болл (Laurence Ball, 1997)	$\gamma_1 r(t) + (1 - \gamma_1) e(t) = \gamma_2 y(t) + \gamma_3(\pi(t) + \xi e(t-1)),$ где y — логарифм реального выпуска; r — реальная процентная ставка; e — логарифм реального валютного курса (увеличение e означает укрепление); π — инфляция.	Лоуренс Болл показал, что для средних и малых открытых экономик это правило дает более точные результаты, чем правило Тейлора

Источник: систематизировано по Т. Цукареву (2009).

Задача поиска оптимального монетарного правила, регулирующего процессы денежной эмиссии, давно тревожит теоретиков и практиков центрального банкинга.

С этой точки зрения интересно исследовать вопрос – **какое монетарное правило предлагают механизмы децентрализованной эмиссии в системе Биткойна?**

4. Монетарное правило Накамото

Эмиссия биткойнов осуществляется через канал получения майнерами вознаграждения за генерирование новых блоков. Словами Сатоши Накамото (Nakamoto, 2008): "По умолчанию, первая транзакция в блоке является специальной, создающей новые монеты, которые принадлежат создателю блока. Такая схема поощряет честных участников сети, стимулируя их поддерживать работу сети, а также решает вопрос о начальном распределении денежной массы в отсутствие центрального эмитента. Равномерное увеличение числа монет в обращении можно сравнить с добычей золота, в которую тоже вкладываются ресурсы. В роли последних в нашем случае выступают процессорное время и электричество".

И далее: "Другим способом стимулирования может быть комиссия за транзакции. Если входная сумма платежа больше выходной, то разница является комиссией за перевод и прибавляется к базовому значению награды за найденный блок в первой транзакции. Как только суммарный объем денежной массы достигнет заранее установленного максимума, единственным источником поощрения работы над блоками останутся ко-

миссии, при этом избавленные от инфляции. Такое стимулирование может также способствовать уменьшению случаев мошенничества".

Программный код и протокол Биткоина организованы так, что в среднем каждые 10 минут (*Block Time*) в блокчейне Биткоина появляется один новый блок, что влечёт за собой эмиссию новых монет в качестве вознаграждения майнеру (*Block Reward*).

Величина этого вознаграждения изменяется во времени согласно процедуре *халвинга* (*halving – англ. сокращение вдвое*).

Процедура халвинга состоит в том, что через каждые новые 210 000 блоков, добытые в блокчейне (в среднем на это требуется четыре года), награда майнерам за один новый блок в биткоинах уменьшается вдвое:

- с 3.01.2009, когда был добыт первый блок Сатоши Накамото (генезис-блок) до 28.11.2012 года (когда был добыт 210000-й блок) вознаграждение составляло 50 биткоинов (BTC) за один блок;
- с 28.11.2012 до 9.07.2016 – 25 BTC;
- с 9.07.2016 до 11.05.2020 – 12,5 BTC;
- с 11.05.2020 – 6,25 BTC в настоящее время (август 2021 г.) и далее до следующего халвинга.

Следующий халвинг ожидается в 2024 году (3,125 BTC), затем в 2028 году (1,5625 BTC) и так далее (рис. 1).

С точки зрения динамики эмиссии биткоина наиболее важны три ключевых параметра:

T_i – время, через которое появляется каждый новый блок в блокчейне (*Block Time*), и скорость генерирования блоков (V_i); а также

b_i – вознаграждение (*Block Reward*) майнеру новыми биткоинами за генерирование каждого нового i -го блока в блокчейне.

В программном коде и протоколе Биткоина заложена постоянная скорость генерирования блоков – 1 блок за 10 минут, то есть:

$$V = 6 \frac{\text{блоков}}{\text{час}} = 144 \frac{\text{блока}}{\text{день}} = 52560 \frac{\text{блоков}}{\text{год}}$$

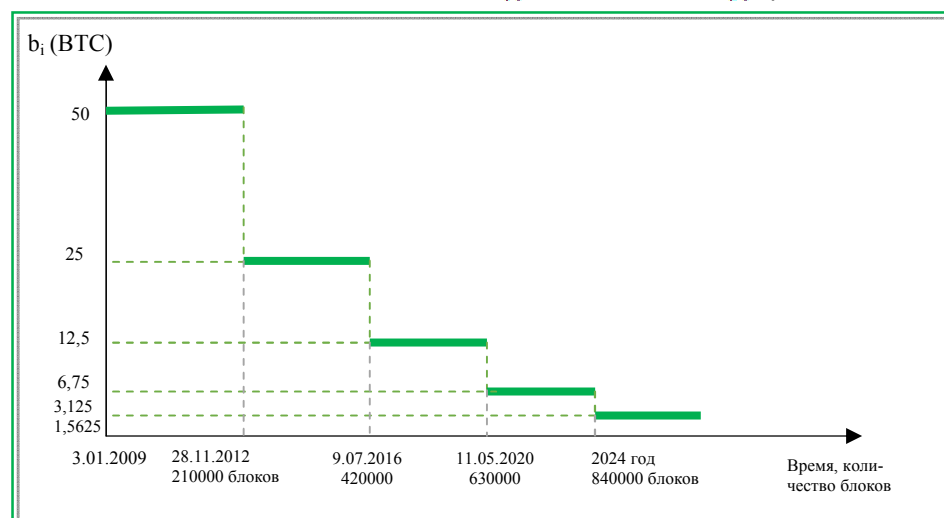


Рисунок 1. График халвинга – уменьшение вознаграждения майнерам за генерирование одного блока в блокчейне Биткоина

Источник: график разработан автором на основе алгоритма системы Биткоин

Отклонения реальной скорости генерирования блоков от заданной проверяется программным кодом через каждые 2016 блоков. Это соответствует 14 дням работы всей глобальной вычислительной сети Биткойна.

В программное обеспечение **встроена система с отрицательной обратной связью для поддержания** постоянной скорости майнинга, то есть **автоматического регулирования темпов эмиссии**.

Системы с обратной связью широко распространены и в природе, и в технических устройствах. Более того, на системах с положительной и отрицательной обратной связью основано устройство всего мироздания от космического уровня до микроскопического – это язык, на котором говорит природа. Поэтому неудивительно, что многие технологические процессы базируются на механизмах обратных связей. И архитекторы децентрализованной цифровой валюты – биткойна – также использовали эти универсальные принципы.

Примеры систем обратной связи. Обратная связь – это зависимость управляющего воздействия на систему от состояния самой системы: отрицательная обратная связь уменьшает отклонение системы от равновесия, положительная – увеличивает его. То есть **отрицательные обратные связи стабилизируют системы**, а положительные через самоусиливающиеся процессы переводят систему в качественно другое состояние.

На принципе отрицательной обратной связи основано поддержание любых равновесных процессов – при отклонении системы от равновесия на её вход подаётся сигнал, пропорциональный отклонению от равновесия, который гасит это отклонение и возвращает систему к целевому состоянию. Например, в природных системах – это механизмы поддержания гомеостаза (устойчивости внутренней среды) на гормональном, клеточном уровне живых организмов, а также на уровне экосистем. В принципе, мы обязаны своей каждодневной жизнью природным механизмам обратных связей, поддерживающим стабильную температуру организма, давление и другие параметры. Примеры механизмов отрицательных обратных связей в технике – это термостаты различных видов, системы климат-контроля и круиз-контроля в автомобилях для поддержания целевого состояния и многие другие технические устройства.

В системе Биткойна система отрицательной обратной связи для поддержания постоянной скорости майнинга работает *через изменение управляющего параметра* – **сложности** майнинга биткойнов (**Bitcoin Difficulty**), который определяется в зависимости от отклонений реальной скорости от целевого значения. Каждые две недели алгоритм сравнивает реальную скорость майнинга с её целевым значением и выполняет следующие действия:

- если очередные 2016 блоков "добыты" быстрее, чем за две недели, то есть скорость генерирования блоков превышает заданную, то алгоритм повышает уровень сложности майнинга и скорость майнинга замедляется;
- если 2016 блоков добыты более чем за две недели, то есть скорость майнинга меньше заданной, тогда алгоритм снижает уровень сложности майнинга и увеличивает его скорость до заданного уровня.

В краткосрочном периоде колебания реальной скорости майнинга являются неизбежными. Скорость может увеличиваться, если **растёт хешрейт сети**, то есть, если к ней подключаются дополнительные узлы со своими вычислительными мощностями или внедряются более быстродействующие процессоры. Если же в силу различных факторов (напри-

мер, запрет работы майнеров в Китае) большое количество узлов отключаются и хешрейт сети падает, то скорость майнинга замедляется.

Хешрейт (*hash rate*) – это вычислительная мощность устройств или сети устройств, выражающаяся в скорости генерирования ими хешей (значений хеш-функций).

Хешрейт измеряется в единицах скорости: количество хеш в секунду. Например, 16.05.2021 хешрейт сети системы Биткоина достиг одного из своих пиков – 179 EH/s (экзохешей в секунду). Учитывая среднее время T между добытыми блоками за последние 24 часа и текущий уровень сложности D , расчетная скорость хеширования в секунду определяется по формуле $H = 2^{32} D / T$.

Для гашения отклонений скорости майнинга от её целевого значения в систему встроен механизм пересчёта уровня сложности майнинга.

Каким образом это реализовано?

Сложность (*Bitcoin Difficulty – d*) – это численный параметр, отражающий количество необходимой работы майнера для нахождения правильного хеша нового блока, обеспечивающего принятие блока системой Биткоина.

Технически, величина параметра сложности влияет на значение целевого хеша (*target hash*). Целевой хеш делит множество всех возможных хешей на две части: если найденный в процессе майнинга хеш меньше целевого, он является подходящим, и система принимает блок с найденным хешем. Если сгенерированный хеш больше целевого, то система отбрасывает его, и процесс майнинга продолжается.

Чем выше параметр сложности, тем меньше вероятность, что произвольный найденный хеш окажется "правильным", и тем длительнее в среднем процедура перебора хешей. То есть рост параметра сложности отражает рост трудоемкости и длительности процедуры майнинга.

На рис. 2. предложена схема, поясняющая эти взаимосвязи.

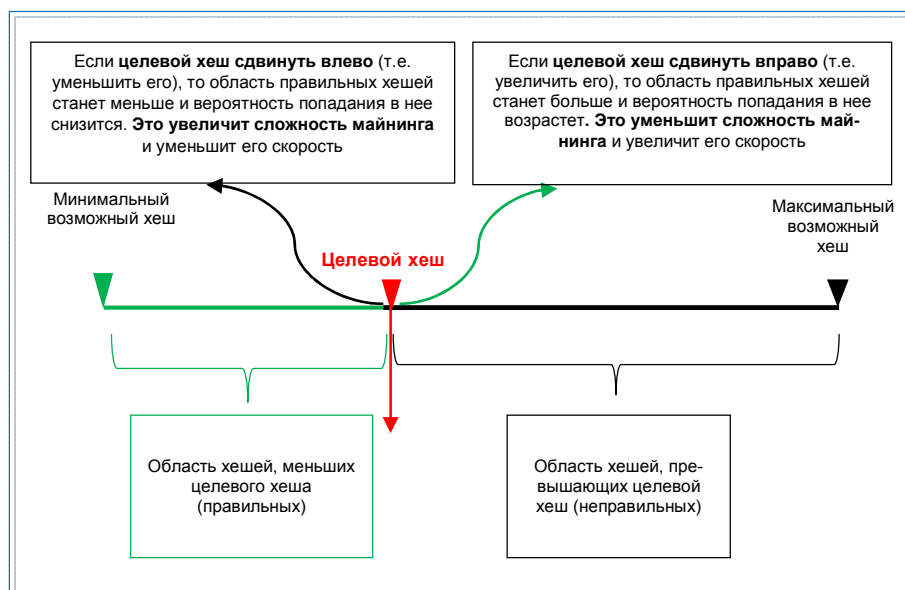


Рисунок 2. Иллюстрация применения целевого хеша для управления параметром сложности майнинга биткоинов

Источник: иллюстрация разработана автором статьи в методических целях.

Каждые 14 дней алгоритм Биткоина проверяет реальную скорость генерирования блоков в сети на ее отклонение от целевой скорости V (1 блок за 10 минут) и рассчитывает параметр d_N (*New Difficulty*) по формуле:

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

где T – целевое время генерирования 2016 блоков; оно равно 20160 минут, так как целевая скорость – 1 блок за 10 минут; T_R – реальное время в минутах генерирования сетью очередных 2016 блоков; d_C – значение параметра сложности сети Биткоина на момент проверки.

Если $\frac{20160}{T_R} < 1$, то есть $T_R > 20160$, то уровень сложности повышает по формуле (5).

Если наоборот, $\frac{20160}{T_R} > 1$, то есть $T_R < 20160$, то уровень сложности соответственно понижается. После нахождения требуемого значения параметра сложности рассчитывается необходимый целевой хеш и встраивается в алгоритм системы.

Таким образом, целевой хеш играет роль переключателя скорости эмиссии новых монет в системе Биткоина.

На основе представленной информации о внутренних механизмах саморегулирования эмиссии в системе Биткоин, а также о монетарных правилах из сферы монетарной экономики **рассмотрим вопрос о монетарном правиле системы Биткоин.**

Общий объём M выпущенных биткоинов на бесконечном горизонте времени рассчитывается из соотношения:

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

где S – сумма бесконечно убывающей геометрической прогрессии, в которой $b_1 = 50$, знаменатель прогрессии $q = \frac{1}{2}$, то есть

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

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

то есть

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

Таким образом, предельный объём всей эмиссии криптовалюты биткоина (будем его условно называть "объём денежной массы") M на бесконечном горизонте будет равен 21 000 000 BTC:

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

Общее количество эмиссии биткоинов на 12.08.2021 составляло 18 784 087,5 BTC.

Для определения монетарного правила, по которому работает саморегулирующийся механизм децентрализованной эмиссии Биткоина, найдём функцию $M(t)$, которая в аналитическом виде описывает ежегодную динамику денежной массы.

Через каждые 210000 блоков вознаграждение майнерам за блок уменьшается вдвое. Это означает, что скорость эмиссии новых монет на интервале между моментами халвинга T_1, T_2, T_3, \dots , а значит, и угол наклона соответствующего линейного графика к оси абсцисс уменьшается по сравнению с предыдущим отрезком времени. То есть функцию $M(t)$ можно представить в виде *линейного сплайна* (рис. 3).

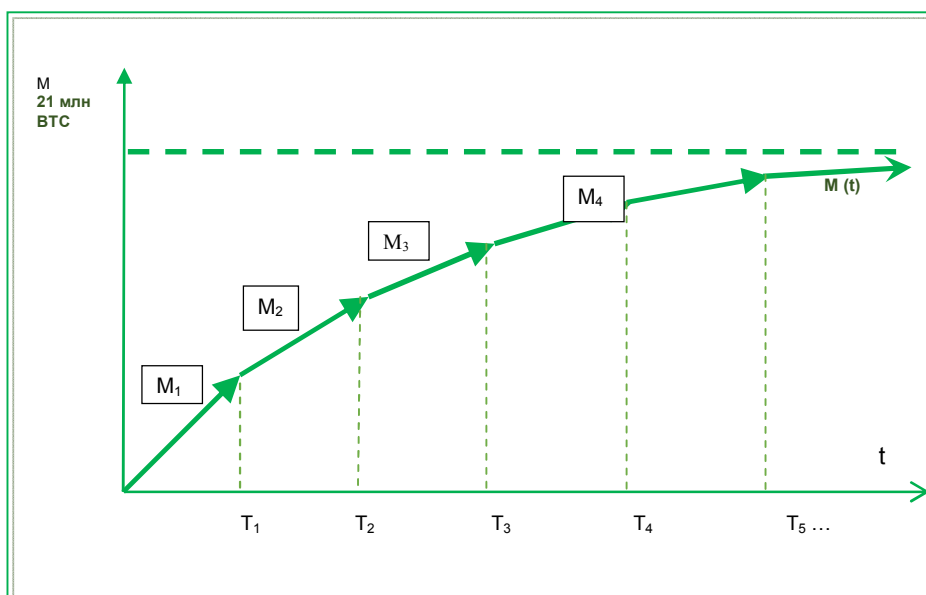


Рисунок 3. Сплайн-функция $M(t)$, описывающая динамику эмиссии биткоинов и объема денежной массы на бесконечном горизонте времени

Источник: иллюстрация разработана автором статьи.

Линейный сплайн – это кусочно-линейная функция, область определения которой разбита на интервалы, на которых соответствующий "кусочек" функции представляет собой полином первой степени (линейную функцию), а вся функция "склеена" на границах интервалов из этих полиномов с разными коэффициентами.

Использование сплайн-функций, "склеенных" из полиномов различной степени, широко распространены в прикладной математике для проектирования систем автоматизированного управления.

Для саморегулирования процесса децентрализованной эмиссии биткоинов и обеспечения оптимальной динамики денежной массы использована сплайн-функция, "склеенная" из полиномов первого порядка. Она состоит из отрезков линейных функций $M_j(t)$ для каждого периода времени $[T_{j-1}; T_j]$, где $j \in [1, \infty)$.

Точки T_1, T_2, T_3, \dots – это моменты времени халвинга, то есть точки переключения режима эмиссии новых монет на уменьшенное вдвое вознаграждение майнерам.

$M_j(t)$ отражает динамику эмиссии в течение генерирования майнерами очередных 210000 блоков. Внутри каждого временного отрезка между халвингами $[T_{j-1}; T_j]$, размер вознаграждения b_j майнерам за каждый новый блок поддерживается на постоянном уровне.

Размер вознаграждения b_j на следующем отрезке после халвинга в два раза меньше предыдущего:

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

Угол наклона каждого отрезка $M_j(t)$ сплайн-функции $M(t)$ к оси абсцисс, то есть скорость эмиссии биткоинов, определяется значением b_j величины вознаграждения майнерам:

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

и скоростью генерирования блоков $V(t)$.

То есть,

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

где b_j – величина вознаграждения майнеру за один сгенерированный блок в блокчейне на j -м отрезке; $V_j(t)$ – количество блоков, добытых за год t в течение промежутка $[T_{(j-1)}; T_j]$.

Согласно протоколу Биткоина, ежегодная скорость генерирования блоков должна поддерживаться на уровне 1 блок за 10 минут, то есть

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

то есть $V = 6$ блоков в час, или 144 блока в день, или 52560 блоков в год, тогда период T между халвингами должен быть:

$$T = \frac{210000 \text{ блоков}}{V \text{ блоков/год}} = \frac{210000}{52560} = 3,995 \cong 4 \text{ года}$$

В реальности чаще всего эта скорость незначительно выше или ниже. Это проверяется алгоритмом каждые 2016 блоков (в среднем каждые две недели), и в случае необходимости пересчитывается сложность генерирования блоков для возврата скорости эмиссии новых монет к целевому уровню. Соответственно, реальный период между халвингами незначительно отклоняется от значения $T = 4$ года:

- на первом промежутке 3.01.2009 – 28.11.2012 до переключения вознаграждения за блок с 50 BTC на 25 BTC скорость добычи блоков составляла 53 827,25 блоков в год, то есть промежуток до халвинга составлял 3,9 года;

- на втором промежутке 28.11.2012 – 9.07.2016 при переключении с 25 BTC на 12,5 BTC он длился 3,61 года;

- на третьем промежутке 9.07.2016 – 11.05.2020 при переключении с 12,5 BTC на 6,25 BTC он составил 3,88 года;

- следующий халвинг и снижение уровня вознаграждения майнеров с 6,25 BTC на 3,125 BTC за блок, то есть **переключение режима эмиссии произойдет приблизительно в конце февраля 2024 года**. Сейчас (9.08.2021 года) вознаграждение майнерам составляет 6,25 BTC за блок, в блокчейне уже 695058 блоков, до халвинга осталось сгенерировать 144944 блока.

Сплайн-функция, описывающая денежную массу $M(t)$ задаётся совокупностью "склеенных" линейных функций на интервалах, границами которых являются точки переключения режима эмиссии, то есть моменты времени, в которые происходит халвинг (рис. 4).

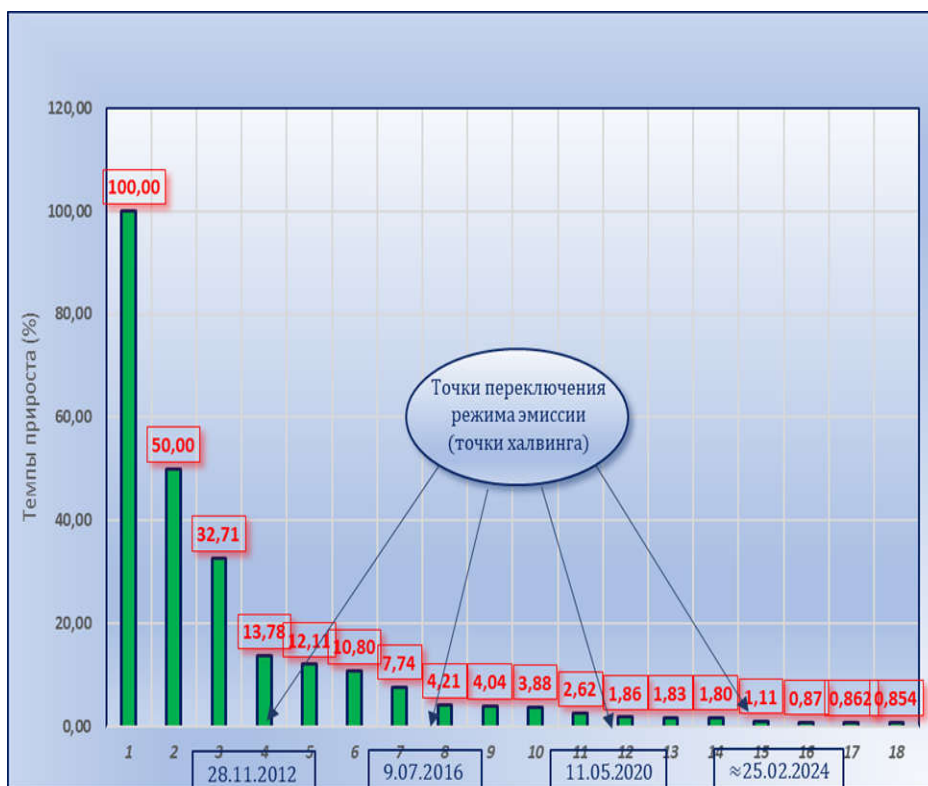


Рисунок 4. Динамика ежегодных темпов прироста денежной массы биткоинов $m(t)$ 2010–2028 гг.

Источник: график разработан автором на основе анализа алгоритма системы Биткоин.

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

Эту сплайн-функцию динамики объёма денежной массы биткоинов можно записать в аналитическом виде таким образом:

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

где t – соответствующий момент времени, $t > T_{K-1}$, T_K – ближайшая точка халвинга, предшествующая моменту t .

Для расчёта монетарного правила, на котором строится эмиссия биткоинов, необходимо получить в явном виде функцию ежегодного прироста денежной массы биткоинов $m(t)$:

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

где $\Delta M(t) = M(t) - M(t-1)$.

Подставив выражение (1) для $M(t)$ в (2) и опуская элементарные алгебраические преобразования, получим формулу для ежегодных темпов роста денежной массы $m(t)$:

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

где $t > T_{(K-1)}$, b_K – вознаграждение майнерам (Block Reward) за генерирование одного блока после халвинга в точке T_{K-1} ; T_{K-1} – точка халвинга, непосредственно предшествующая моменту времени t

Это соотношение, заложенное в алгоритме Proof-of-Work и блокчейна системы Биткойна, определяет на всем горизонте эмиссии уровень ежегодного прироста денежной массы. Его можно назвать **монетарным правилом Накамото**.

Аналитическое представление (5) функции $m(t)$ даёт формулу для расчёта ежегодных темпов прироста денежной массы, заложенных протоколом блокчейна системы Биткойна.

Функция $m(t)$ – это сплайн-функция, "склеенная из кусочков" соответствующих гипербол в точках халвинга, определяющих переключение режима эмиссии. Численные значения $m(t)$ до 2025 года представлены на графике (рис. 4).

Выводы

Формула (5), полученная в явном аналитическом виде, позволяет проводить исследования блокчейна системы Биткойна как монетарного феномена и проводить имитационное моделирование параметров эмиссии при разработке новых блокчейнов для цифровых валют. Монетарное правило Накамото можно рассматривать как первый пример программируемого монетарного правила, заложенного в алгоритме децентрализованной эмиссии в системе блокчейна.

Центральные банки могут использовать аналогичный подход с необходимыми модификациями для разработки своих программируемых монетарных правил и технологии DLT для эмиссии цифровых валют центральных банков (CBDC).

Литература

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-RU#the-libra-payment-system>
5. Diem (2021). URL: <https://www.diem.com/en-us/white-paper/?noredirect=ru-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 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*. 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. Nakamoto S. (2008). Письмо с комментарием к White paper. Retrieved from <https://www.metzdowd.com/pipermail/cryptography/2008-November/014814.html>
19. Nakamoto S. et al. (2008–2010) Полная переписка Сатоши Накамото с коллегами по совершенствованию системы Биткойна. 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.

Поступление в редакцию 07 сентября 2021

Прорецензировано 20 сентября 2021

Подписано в печать 30 сентября 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 White paper. 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