

УДК 004.75: 681.3

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
КРИПТОВАЛЮТ НА ИХ ПРИНЯТИЕ В КАЧЕСТВЕ
«АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ДЕНЕГ»**

Попов В. Б., Гавриков И. В.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

E-mail: pvb55@mail.ru

В статье исследованы принципы работы криптовалютных систем и различные варианты их реализации, а также привлекательность криптовалют в качестве альтернативного метода оплаты в современных условиях. Рассмотрены классы блокчейн-систем, различные алгоритмы реализации функционала консенсуса в блокчейн-системах, неблокчейновые технологии реализации криптовалют. Приведены примеры криптовалют, основанных на различных технологических принципах, а также примеры опыта использования криптовалют в качестве альтернативного способа оплаты компаниями. Сформулированы рекомендации по выбору технологий и направлениям исследований в криптовалютной сфере.

Ключевые слова: криптовалюты, криптоэкономика, блокчейн, цифровая экономика, информационная экономика, финансовые технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях стабильного развития информационных технологий и цифровой экономики беспрецедентно высокие темпы роста в последние годы испытывает частота применения технологий криптовалют в различных областях, а также технология блокчейна, зародившаяся в качестве основы первой криптовалюты Bitcoin. В монографии «Блокчейн. Схема новой экономики» («Blockchain. Blueprint for a New Economy») основатель и руководитель института блокчейн-исследований Мелани Свон (Melanie Swan) выделяет три основные области применения данной технологии: криптовалюта, смарт контракты, приложения [1]. В [2] предлагается новая модель создания масштабируемых и эффективных приложений, получивших название «децентрализованные приложения», основы которой были заложены технологией Bitcoin, включающей криптографическую регистрацию сделок, модель с ограниченными ресурсами и пиринговые технологии.

Отметим [3], что объем инвестиций в ICO (криптовалютные аналоги первичного публичного предложения) за один лишь 2017 год превысил 2 миллиарда долларов США, а темпы его роста превышают темпы роста традиционных видов инвестиций.

Цель исследования касается вопросов организации технологических основ и принципов работы новейшей технологии блокчейн и ее влияния на популярность и жизнеспособность криптовалют в качестве альтернативы фидуциарным деньгам.

Анализ последних исследований и публикаций, касающихся технологии децентрализованной системы блокчейна/биткойна, показывает, что использование моделей и новых протоколов позволяет решать многие практические задачи. В настоящее время активно прорабатываются различные проекты и консорциумы, связанные с решением различных вопросов применения этой технологии. Настоящая

работа призвана заполнить пробелы и дать представление об основных существующих и новых направлениях блокчейн-подходов к решению актуальных проблем и задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В последние годы на тему криптовалют ведутся оживленные дискуссии на самых различных уровнях. Однако криптовалюты и блокчейн на данном этапе являются относительно молодыми технологиями, еще не доказавшими себя в качестве надежного элемента множества финансовых технологий. В частности, консалтинговый и аналитический гигант Gartner на протяжении последних лет размещал блокчейн на «пике чрезмерных ожиданий». С криптовалютами также связан ряд технологических проблем, которые препятствуют их широкому внедрению в финтех-контекстах.

Датой зарождения криптовалют считается 2008 год, когда была опубликована статья «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System» (в переводе на русский – «Биткойн: цифровая пиринговая наличность», автор – Сатоши Накамото), об архитектуре Bitcoin (также «биткойн») – децентрализованной цифровой валюте, или так называемой «криптовалюте», исключающей из финансовых операций банки и прочие финансовые организации (посредников) [4].

Bitcoin построен на основе технологии блокчейна (от англ. blockchain – цепь блоков), по сути представляющего собой распределенную систему записи и обмена информации. Ее главной особенностью является принцип самой записи: в системе нет механизма доверия и записывать информацию в нее может любой ее участник. Блоки информации затем становятся неотъемлемой частью системы, будучи включенными в непрерывную цепь, ведущую от первичного блока и до последнего (отсюда название технологии). Верификация новых транзакций выполняется при помощи т. н. «алгоритма консенсуса», представляющего собой ресурсоемкую криптографическую задачу, решение которой окончательно записывает транзакцию в цепь.

Общая схема устройства транзакций в криптовалютных системах, построенных на основе блокчейна, представлена на рис. 1.

Пользователь А совершает криптовалютную транзакцию, используя для этого кошелек (1) – пользовательский интерфейс для работы с криптовалютными адресами, или счетами, на которых хранятся единицы криптовалюты – криптовалютные «токены».

Информация о проводимой транзакции поступает на узел распределенной сети (2), откуда она распространяется по всем остальным узлам сети (3).

Будучи распространенной по сети, она требует подтверждения при помощи использования специального «алгоритма консенсуса» – специального алгоритма, гарантирующего корректность транзакции в условиях распределенной природы крипто валютной сети. В контексте Bitcoin и подобных ему криптовалют процесс подтверждения транзакции, а вместе с этим и создания новых единиц криптовалюты, называется «майнингом» (от англ. mining – добыча [полезных ископаемых]) (4).

После того как транзакция верифицирована одним или более узлами, она входит в новейший блок блокчейна и становится его неотъемлемой частью (5).

Пользователь Б, указанный в качестве получателя транзакции, становится подтвержденным владельцем криптовалюты, отправленной ему пользователем А.

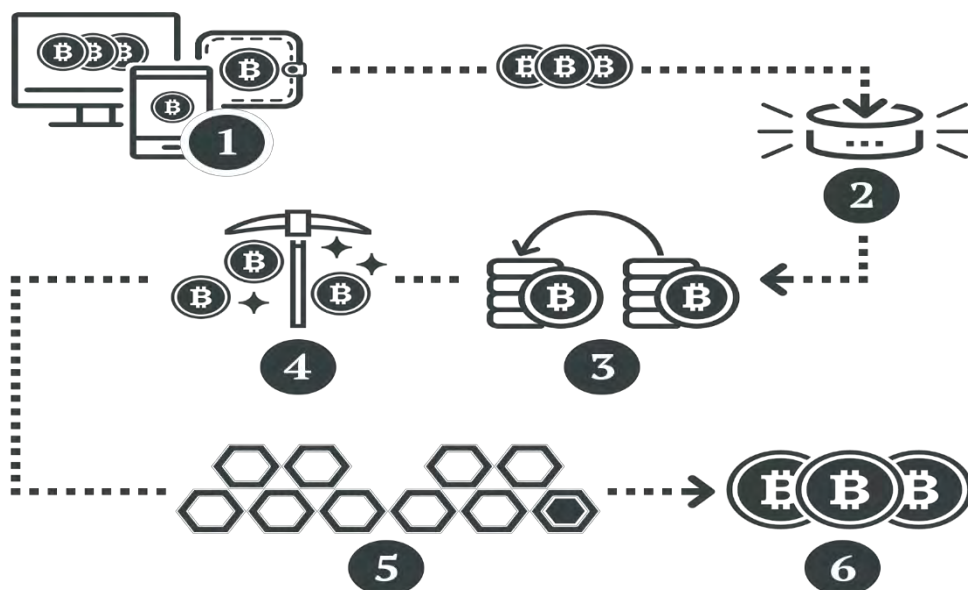


Рисунок 1. Общая схема работы криптовалют, реализованных с использованием публичного блокчейна на основе алгоритма proof-of-work (на примере Bitcoin)

Такая технологическая организация криптовалют делает их децентрализованной финансовой системой с высокими показателями прозрачности, поскольку для ее функционирования в теории не нужен ни центральный дата-центр, ни авторитетный орган по верификации транзакций – в сети может принимать участие кто угодно, и это не будет представлять угрозы для целостности сети. Блокчейны такого класса, т. е. открытые для участия всем без каких-либо критериев, принято называть «публичными блокчейнами».

Их противоположностью являются «приватные блокчейны», в которых участие в сети должно быть санкционировано неким авторитетным органом или набором правил, установленных создателями сети. Приватные блокчейны являются привлекательной альтернативой для контекстов, где необходимо, к примеру, обеспечить приватность данных (например, блокчейны, хранящие персональные данные людей) либо иметь возможность верификации участников сети.

ОСНОВНЫЕ ПРОТОКОЛЫ КОНСЕНСУСА

Для подтверждения транзакций и обеспечения целостности всей цепи блоков существуют различные алгоритмы обеспечения консенсуса. В публичных блокчейнах сегодня существует два основных класса алгоритмов подтверждения транзакции и некоторые их модификации:

1. Proof-of-work (PoW, «доказательство работы»). В блокчейн-системах, основанных на алгоритмах proof-of-work, подтверждение производится посредством «майнинга» – децентрализованного процесса решения криптографических задач. При успешном решении задачи «майнером» в цепи создается новый блок, который становится ее неотъемлемой частью и содержит информацию о последних N транзакциях (N – число переменное со средним значением около 2000). Поскольку все последующие блоки криптографически связаны с данным, каждый из них является дополнительным подтверждением транзакции. Для того чтобы считать транзакцию подтвержденной, требуется наличие как минимум блока, содержащего ее, но согласно консенсусу сообщества, гарантией верности является около 6 подтверждений в блокчейне [5].

В криптовалютах, использующих публичные блокчейны с PoW-алгоритмом консенсуса, майнеры, как правило, получают выплату в виде единиц криптовалюты за создание нового блока. Однако наряду с выплатой за создание блока майнеры также получают от пользователей криптовалюты комиссионное вознаграждение за каждую транзакцию, служащее «мотивацией» включить в создаваемый ими блок именно данную транзакцию. Одним из наиболее распространенных методов отбора транзакций среди майнеров является сортировка по fee rate (отношению комиссионного вознаграждения к размеру транзакции).

При этом, поскольку частные лица по отдельности не обладают оборудованием, достаточным для надежного получения прибыли, майнеры объединяются в т. н. «майнинговые пулы» (mining pools) – сообщества майнеров, объединяющих свои вычислительные мощности для повышения шанса решения задачи на создание блока. За последние несколько лет такие майнинговые пулы стремительно выросли в размерах: например, около 47 % всей вычислительной мощности в сети Bitcoin принадлежит трем пулам; при этом первые два пула по объему вычислительной мощности принадлежат одной компании [6].

Такой механизм подтверждения транзакций обладает высокой степенью надежности в условиях полной децентрализации системы, однако основным его недостатком является время, затрачиваемое на процесс подтверждения. Процесс майнинга специально разработан так, что решение криптографических задач требует значительных вычислительных мощностей, а значит и временных затрат – в системе Bitcoin на создание одного блока в среднем уходит около 10 минут.

2. Proof-of-stake (PoS, «доказательство доли»). В PoS-криптовалютах создатель каждого последующего блока в цепи выбирается при помощи комбинации выбора случайным образом и выбора на основании его «доли» в системе, т. е. количества средств на счету и времени, на протяжении которого эти средства находились на счету. Выбор на основании одного лишь размера счета неизбежно приведет к

централизации прав на верификацию транзакций, из-за чего существует несколько различных подтипов PoS-алгоритмов.

Алгоритмы на основе рандомизации выбирают создателя следующего блока случайно на основе самой низкой по своему значению хеш-суммы в комбинации с объемом доли. Такой алгоритм используется, в частности, в криптовалюте Nxt [7].

Алгоритмы на основе «возраста доли» комбинируют рандомизацию с новым понятием «возраста доли». Этот возраст является числом, по-разному определяемым в разных алгоритмах, но так или иначе зависящим неким образом от количества времени, на протяжении которого определенный объем криптовалюты находится на определенном счету без каких-либо перемещений. Обычно реализации «возрастных» алгоритмов включают в себя ряд мер, предназначенных для обеспечения честного распределения прав на верификацию транзакций между участниками сети. Так, в PeerCoin [8] и ряде других криптовалют генерация нового блока за счет своей «доли» влечет за собой выплату этой доли ее же владельцу, что, в свою очередь, «поглощает» ее возраст. Это предотвращает «геронтократию» неиспользуемых на протяжении долгих периодов времени объемов криптовалюты.

Алгоритмы PoS разработаны в качестве альтернативы алгоритмам PoW, пытающейся решить некоторые проблемы, связанные с их реализацией. Так, PoS-алгоритмы в перспективе требуют значительно меньших затрат электроэнергии со стороны верификаторов транзакций, поскольку в них не используются сложные для вычисления криптографические задачи. Благоприятным побочным эффектом от использования такого «более простого», но не менее безопасного алгоритма также является уменьшение количества времени, затрачиваемого на верификацию отдельно взятой транзакции в криптовалютной системе. Схема, сравнивающая функционирование PoW и PoS-алгоритмов, приведена на рис. 2.

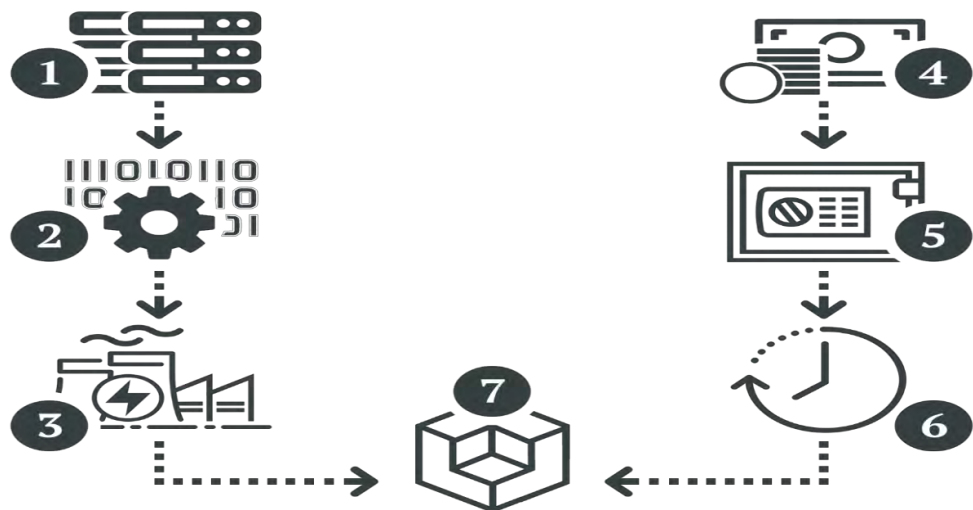


Рисунок 2. Схема, сравнивающая принципы работы PoW (слева) и PoS-алгоритмов (справа)

В PoW-алгоритмах на оборудовании майнера (1) решаются криптографические задачи (2), и посредством траты электроэнергии (3) им создается новый блок (7). В PoS-алгоритмах средства валидатора (4) хранятся на специальном счете (5), и по прохождении времени (6) возрастает шанс выбора именно этого валидатора для создания нового блока.

Рассматривая существующие сегодня криптовалюты, основанные на публичных блокчейнах, можно видеть, что PoW-алгоритмы пока остаются более популярной основой для реализации криптовалют, в частности благодаря широкому распространению программного кода для их создания.

Не менее важным фактором также является «удельный вес» криптовалют – в биткоине, со значительным отрывом наиболее популярной на сегодня криптовалюты, основой является именно PoW-алгоритм.

Использование PoW-алгоритмов играет немалую роль в создании непривлекательного имиджа криптовалют для мейнстримных организаций, поскольку оно создает ряд нежелательных побочных эффектов, связанных с работой криптовалютных систем.

Так, по данным Blockchain.info [9], среднее время ожидания подтверждения Bitcoin-транзакции редко опускается ниже 30 минут, а нередко и превышает несколько часов. В то же время объем комиссионных за одну транзакцию в системе Bitcoin, по данным BitInfoCharts [10], в пределах нескольких месяцев варьировался от 1,5 до 55 долларов США.

Это делает непривлекательным использование криптовалют в качестве альтернативного способа оплаты товаров и услуг, поскольку и время транзакций, и затраты на комиссионные в традиционных электронных платежных системах (Visa, PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, Qiwi и др.) в разы ниже.

Ярким примером результата нестабильности криптовалют и Bitcoin в частности является внедрение оплаты при помощи Bitcoin компанией Valve, владеющей крупнейшим продавцом компьютерных игр Steam. Внедрив возможность покупки игр при помощи Bitcoin во втором квартале 2016 года, Valve убрали эту возможность уже в декабре 2017 года ввиду двух основных причин [11]:

1. Резкий рост транзакционных издержек. Комиссионные, взимаемые за транзакцию в системе Bitcoin, выросли с 20 центов США на момент внедрения до 20 долларов США на момент отключения.

2. Комбинация высокой волатильности и низкой скорости транзакций. Стоимость одного токена Bitcoin настолько быстро изменяется, что за время, необходимое для успешного проведения транзакции, объема переводимых токенов Bitcoin может уже не хватить для покрытия стоимости продукта. Из-за этого покупателю становится необходимо доплачивать разницу в стоимости, совершая новую транзакцию (и снова тратя значительный объем средств в комиссионных и времени на перевод).

Valve является не единственной компанией, дистанцирующейся от криптовалютных транзакций. В прошлом от оплаты при помощи Bitcoin также отказывались цифровой гигант Microsoft и платежный посредник Stripe [12].

КОНТРОЛИРУЕМЫЕ РЕЕСТРЫ

Из-за технологических ограничений криптовалютных систем их создателям приходится искать компромисс между прозрачностью системы и ее эффективностью. Разработчики некоторых криптовалют приняли решение использовать качественно иные подходы к проектированию архитектур своих продуктов. Одним примером таких разработчиков является американская компания Ripple – разработчик одноименного платежного протокола и криптовалюты XRP. Система Ripple разработана на основе проприетарных технологий для работы с крупными банковскими и финансовыми организациями. Согласно статистике Ripple, система поддерживает до 1500 транзакций в секунду (для сравнения: Bitcoin проводит около 6 транзакций в секунду, PayPal – около 200), а время одной транзакции не превышает нескольких секунд [13]. Такая скорость и дешевизна работы с XRP обусловлена отсутствием в ее реализации принципа майнинга – вместо этого криптовалюта XRP выпускается ее компанией-создателем с течением времени. Из-за этого XRP не является децентрализованной криптовалютой в традиционном толковании данного термина, поскольку ее эмиссию контролирует компания-разработчик и ее можно описать как систему, основанную на приватном блокчейне.

Другой криптовалютой с нетрадиционной архитектурой является Dash, в прошлом также известная как Darkcoin и XCoin. Программный код Dash основан на Litecoin, криптовалюте, во многом идентичной Bitcoin. Несмотря на это, разработчики Dash внедрили в криптовалюту ряд уникальных функций и архитектурных решений. Так, сеть Dash является двухуровневой [14] – помимо классической одноранговой сети «майнеров», используемой для подтверждения транзакций и эмиссии валюты, существует также сеть «мастер-узлов» (masternodes). Эти мастер-узлы представляют собой специальные серверы, выполняющие ряд ключевых функций в Dash-сети. Эти функции включают в себя уникальные финансовые функции, предлагаемые Dash: PrivateSend, функция анонимной и неотслеживаемой отправки средств на счета, и InstantSend, специализированная система почти мгновенной отправки средств. В PrivateSend анонимность обеспечивается за счет предварительного «перемешивания» валюты для предотвращения возможности отслеживания конкретной группы токенов. Для мгновенных транзакций InstantSend использует в качестве сети верификации не одноранговую сеть майнеров, а вышестоящую сеть мастер-узлов, которые способны достичь консенсуса значительно быстрее майнеров. Dash также уникальна тем, что мастер-узлы в ней выполняют организационные функции [15]. В сети Dash награда за создание каждого нового блока делится следующим образом: 45 % награды получается майнерами, 45 % – мастер-узлами, а 10 % остается в специализированной «казне», нацеленной на развитие Dash как таковой. Ежемесячно мастер-узлы имеют право голосовать за предложения по улучшению сети, предлагаемые сообществом пользователей. После окончания голосования системой автоматически выбираются предложения с наибольшей долей и количеством голосов «за», и средства на их внедрение выделяются из казны. Благодаря этому Dash является не только

криптовалютой, но и децентрализованной автономной организацией (DAO, decentralized autonomous organization). При этом для того, чтобы получить право на подключение сервера к сети мастер-узлов, необходимо внести залог в 1000 единиц валюты (по курсу обмена, актуальному на момент написания статьи, – около полумиллиона долларов [16]).

«НЕБЛОКЧЕЙНЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ КРИПТОВАЛЮТ

Несмотря на тот факт, что сегодня в криптоэкономическом дискурсе понятия криптовалют и блокчейна зачастую почти синонимичны, существует также относительно немногочисленная группа криптовалют, реализованных не на блокчейне, а на принципиально других технологиях:

1. Криптовалюта IOTA, разработанная специально для работы в контексте Интернета вещей и ведения М2М-бизнеса (machine-to-machine), построена на основе «клубка» (tangle) [17] – комбинации направленного ациклического графа и алгоритмов Монте-Карло с цепями Маркова. Алгоритм «клубка» позиционируется авторами как наследник блокчейна и позволяет проводить транзакции с очень низкой задержкой и без комиссионных.

2. Криптовалюта Nano основывается на алгоритме «блоковой решетки», в котором каждая транзакция сама по себе является блоком и все блоки способны быть быстро верифицированы и интегрированы в решетку [18]. Авторами Nano позиционируется как потребительская криптовалюта с теоретически неограниченной масштабируемостью благодаря отсутствию комиссионных и быстрому проведению транзакций.

3. Платформа Holochain и ассоциированный с ней криптовалютный токен HOT реализуются на основе распределенной хеш-таблицы (DHT, distributed hash-table) с некоторыми модификациями [19]. Технология DHT в различных представлениях уже успешно используется в ряде других децентрализованных приложений и сетей, в частности в torrent-сетях [20]. Holochain в первую очередь позиционируется авторами в качестве платформы для разработки распределенных приложений.

4. Платформа Hedera также позиционируется авторами как платформа для разработки распределенных приложений и основана на алгоритме «хеш-графа», разработанном самой компанией [21]. Технические детали реализации алгоритма полностью не приводятся, однако компанией заявляется скорость проведения транзакций, измеряемая в секундах, и возможность проведения сотен тысяч транзакций в секунду. В криптовалютных транзакциях на платформе Hedera планируется внедрение невысоких комиссионных, а прибыль участники сети будут получать за счет запуска на своем оборудовании узлов сети, а не посредством PoW-алгоритма.

Существуют и другие платформы и криптовалюты, заявляющие об использовании в качестве технической базы неблокчейновые технологии, однако на настоящий момент они описаны достаточно поверхностно и любые суждения о них будут преждевременны. Наиболее жизнеспособными на данный момент

неблокчейновыми криптовалютами являются ЮТА и Nano, описанные выше, поскольку их токены уже введены в оборот на криптовалютных биржах [22, 23].

ВЫВОДЫ

Криптовалюты пока являются молодой технологией, и разработчиками еще не был исследован весь ее потенциал. Несмотря на это, уже сегодня можно видеть основные векторы ее развития. В качестве важных и зависимых друг от друга характеристик криптовалютных систем можно выделить степень децентрализации, скорость работы, надежность, экономность. Своего рода идеалом высоко децентрализованной криптовалюты служит Bitcoin, однако ее главными недостатками являются низкая скорость работы (верификации транзакций) и высокий объем затрачиваемых на ее работу ресурсов (электроэнергии). Bitcoin и подобные ему криптовалюты сегодня непривлекательны в качестве средства оплаты услуг для мейнстримовых организаций ввиду высоких показателей волатильности, комиссионных сборов и задержек при проведении транзакций.

Однако помимо Bitcoin существует и ряд других криптовалют, основанных на различных принципах: как на различных вариантах реализации блокчейн-алгоритма, так и на качественно других алгоритмах. Некоторые криптовалюты обеспечивают высокую скорость и надежность своих систем за счет использования альтернативных алгоритмов консенсуса, некоторые – за счет пониженной степени децентрализации.

Существуют также криптовалюты, апробирующие использование неблокчейновых алгоритмов в качестве основы и обещающие высокие показатели скорости, надежности и экономности без компромиссов в области децентрализации. Такие криптовалюты имеют потенциал применения в качестве альтернативных «электронных денег», однако для этого их разработчикам необходимо гарантировать качество своих систем и набрать достаточное количество регулярных пользователей, чтобы сделать выгодным предложение этих криптовалют в качестве альтернативного способа оплаты продавцам с широкими целевыми аудиториями.

При выборе криптовалюты или платформы для децентрализованных приложений либо при планировании создания собственной такой системы необходимо принимать в учет требования к децентрализации системы, скорости ее работы и экономности. Хотя на данный момент блокчейн является технологией, преимущества и недостатки которой исследованы в достаточном объеме для ее применения в крипто экономических контекстах, стоит помнить, что «классические» реализации блокчейн-технологий, как в Bitcoin и других фундаментальных криптовалютах, не являются единственно возможными. Также стоит уделить внимание исследованиям в направлении применения неблокчейновых технологий в криптовалютах и на децентрализованных платформах разработки.

Список литературы

1. Свон М. Блокчейн: Схема новой экономики. М.: Олимп-бизнес. 2017. 240 с.
2. Равал С. Децентрализованные приложения Технология Blockchain в действии. СПб.: Питер, 2017. 240 с.
3. Blockchain Investment Trends in Review. Research Report. // CB Insights [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cbinsights.com/research/report/blockchain-trends-opportunities/>
4. Nakamoto S. A Peer-to-Peer Electronic Cash System // Bitcoin [Электронный ресурс]. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
5. Kawase Y., Kasahara S. Transaction-Confirmation Time for Bitcoin: A Queueing Analytical Approach to Blockchain Mechanism. // Queueing Theory and Network Applications. QTNA 2017. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham: 2017. Vol. 10591. P. 75–88.
6. Hashrate Distribution: An estimation of hashrate distribution amongst the largest mining pools // Blockchain.info [Электронный ресурс]. URL: <https://blockchain.info/pools>
7. The math of Nxt forging. // DocDroid [Электронный ресурс]. URL: <https://www.docdroid.net/e29h/forging0-5-1.pdf>
8. King S., Nadal S. PPCoin: Peer-to-Peer Crypto-Currency with Proof-of-Stake // Peercoin [Электронный ресурс]. URL: <https://peercoin.net/assets/paper/peercoin-paper.pdf>
9. Average Confirmation Time // Blockchain.info [Электронный ресурс]. URL: <https://blockchain.info/charts/avg-confirmation-time>.
10. Bitcoin Average Transaction Fee Historical Chart // BitInfoCharts [Электронный ресурс]. URL: <https://bitinfocharts.com/comparison/bitcoin-transactionfees.html#6m>.
11. The Steam Team. Steam is no longer supporting Bitcoin // Steam Blog – Steam [Электронный ресурс]. URL: <https://steamcommunity.com/games/593110/announcements/detail/1464096684955433613>.
12. Peterson B. \$9 billion startup Stripe drops bitcoin support because it doesn't make sense as a means of payment. // Business Insider [Электронный ресурс]. URL: <http://www.businessinsider.com/stripe-ends-its-bitcoin-payments-product-2018-1>.
13. Roberts J. J. Ripple and MoneyGram Test XRP Currency Transfers // Fortune [Электронный ресурс]. URL: <http://fortune.com/2018/01/11/ripple-moneygram-xrp-cryptocurrency-bank-transfers/>.
14. Duffield E., Diaz D. Dash: A Privacy-Centric Crypto-Currency. // GitHub [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/dashpay/dash/wiki/Whitepaper>.
15. Carrera J. DASH and decentralized governance by blockchain // DASH [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dash.org/2017/09/07/dashdecentral.html>.
16. Cryptocurrency Market Capitalizations. // CoinMarketCap [Электронный ресурс]. URL: <https://coinmarketcap.com/currencies/volume/24-hour>.
17. Popov S. The Tangle // IOTA [Электронный ресурс]. URL: https://iota.org/IOTA_Whitepaper.pdf.
18. LeMahieu C. Nano: A Feeless Distributed Cryptocurrency Network // Nano [Электронный ресурс]. URL: <https://nano.org/en/whitepaper>.
19. Harris-Braun E., Luck N., Brock A. Holochain: scalable agent-centric distributed computing. // GitHub [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/holochain/holochain-protocol/blob/master/whitepaper/holochain.pdf>.
20. Zhang H., Wen Y., Xie H., Yu N. Distributed Hash Table: Theory, Platforms and Applications. New York City, NY, USA: Springer-Verlag, 2013. 67 p.
21. Baird L., Harmon M., Madsen P. Hedera: A Governing Council & Public Hashgraph Network // Hedera [Электронный ресурс]. URL: <https://s3.amazonaws.com/hedera-hashgraph/hh-whitepaper-v1.0-180313.pdf>.
22. Cryptocurrency Market Capitalizations: IOTA (MIOTA) // CoinMarketCap [Электронный ресурс]. URL: <https://coinmarketcap.com/currencies/iota/#markets>.
23. Cryptocurrency Market Capitalizations: Nano (NANO) // CoinMarketCap [Электронный ресурс]. URL: <https://coinmarketcap.com/currencies/nano/#markets>.

Статья поступила в редакцию 26.09.2018