

ФИНАНСЫ И КРЕДИТ

УДК 334.02
ГРНТИ 06.58

Моделирование аномалий в биржевом курсе криптовалют

И.Д. Грачёв, к.ф.-м.н., д.э.н.
e-mail: idg19@mail.ru

И.В. Неволин, к.э.н.
e-mail: i.nevolin@cemi.rssi.ru

Аннотация

Высокое внимание к криптовалютам во-многом объясняется желанием понять, что влияет на их популярность и как они могут быть встроены в экономику. Обстоятельные исследования выявляют положительные эффекты и обмечают проблемы распространения криптовалют. Данная публикация рассматривает спрос на криптовалюту как результат взаимодействия положительных и отрицательных эффектов реально-виртуальных рынков. Криптовалюта позволяет предприятиям реального сектора экономики повысить оборачиваемость средств. В то же время, она «сжигает» ресурсы реального сектора, необходимые для функционирования системы. Для исследования динамики биржевого курса криптовалюты под действием указанных факторов привлекается имитационное моделирование. Построенная имитационная модель объясняет всплески курса криптовалюты разницей в доходности двух рынков – реального и виртуального – и соответствующими перетоками денежных средств. Именно дисбаланс вложений в виртуальный рынок, согласно проведённым исследованиям, лежит в основе скачкообразных изменений биржевого курса. Количественным наполнением модели послужили данные, выявленные в экспериментальных исследованиях сети биткоина.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (РГНФ) № 16-06-00508а «Исследование психологических механизмов и факторов формирования потребительских предпочтений в ситуации импортозамещения».

Ключевые слова: *криптовалюта, реально-виртуальные рынки, имитационное моделирование*

Введение

Интерес публики к криптовалютам, наблюдаемый в наши дни, связан с интригой относительно их будущего. Национальная политика во всём мире варьируется от положительного до крайне негативного отношения [3]. Есть и те, кто ещё не определился в вопросе её регулирования. Надо признать, что сообщество разработчиков видит ограничения в распространении криптовалют и работает над их преодолением (см., например, [10] как работу, направленную на решение проблемы масштабирования биткоин). На фоне этой борьбы между регулирующими органами в тех или иных юрисдикциях, разработчиками, предпринимателями и злоумышленниками растёт медийное освещение криптовалют и, как следствие, число желающих присоединиться к высокодоходному рынку. На Рис. 1 изображена динамика сообщений СМИ по отдельным темам (левая шкала) и курса самой капитализированной криптовалюты (гистограмма со значениями по правой шкале) – биткоин – за последние два месяца.

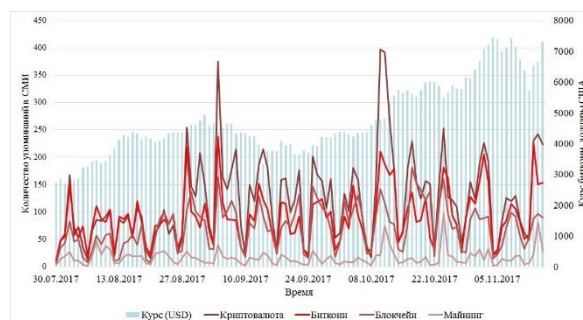


Рис. 1. Динамика сообщений в СМИ по определённой тематике и курса биткоин.

(График построен по данным cde2035.com, blockchain.info).

В этой статье мы не будем останавливаться на определениях и принципах построения криптовалюты, в частности, биткоин, а отошлём заинтересованного читателя, например, к работам [12,14]. Для дальнейшего изложения уместно специально остановиться лишь на одной технической детали – эмиссии биткоин. Как известно [13], новые биткоины появляются в сети как результат решения вычислительной задачи большой сложности. Эмиссия криптовалюты проявляется как награда за

найденное решение, и она присуждается тому, чей результат соответствует определённым критериям. Причём протокол биткоин устроен таким образом, что увеличение вычислительной мощности отдельных участников и, соответственно, всей сети может лишь на время ускорить эмиссию криптовалюты. Через некоторое время условия вычислительной задачи подстраиваются таким образом, чтобы при текущем значении общей вычислительной мощности сети новые биткоины появлялись в среднем каждые 10 минут. Решение математической задачи, которая вознаграждается криптовалютой, получило название «майнинг», а участники сети, которые целенаправленно занимаются эмиссией криптовалюты, – «майнеры». Важно ещё раз подчеркнуть, что вознаграждение получает лишь один майнер из всей сети – тот, кто первым решит вычислительную задачу. Это привело к образованию так называемых майнинговых пулов – объединений пользователей сети, чьи вычислительные мощности можно с некоторой условностью рассматривать как единый кластер для майнинга криптовалюты. Награда пула за решение задачи распределяется между его участниками пропорционально их вычислительным мощностям. Такие объединения позволяют отдельным майнерам получать пусть и небольшой, но достаточно стабильный доход.

Сейчас тяжело установить, что подтолкнуло бурный рост курса биткоин – преимущества криптовалюты или внимание СМИ, – однако, возможность заработать на продаже биткоинов побудила многих заняться майнингом. Как было сказано выше, увеличение вычислительной мощности сети приводит к усложнению решаемой задачи и, соответственно, к снижению вероятности отдельного майнера первым найти решение без изменения производительности своей техники, а значит и к снижению вероятности личного заработка. Появление новых майнеров подталкивает каждого заинтересованного к приобретению всё более производительного оборудования. По состоянию на 2017 год наиболее рентабельными оказываются интегральные схемы, приспособленные именно для решения задачи по эмиссии биткоина (ASIC, application-specific integrated circuit) [11]. Майнинг на обычных компьютерах и высокопроизводительных видеокартах уже давно не является привлекательным в плане рентабельности [13].

Рост числа майнеров не только увеличивает вложения в специальное оборудование, но

также влечёт за собой избыточное энергопотребление. Избыточным оно является, скажем, по сравнению с 2012 годом, когда общая вычислительная мощность сети биткоин оценивалась в 10-20 ТН/s при текущих 7 000 000 ТН/s (10^{12} хэшей в секунду). При этом, как отмечалось выше, скорость эмиссии не существенно не увеличивается в силу адаптации сложности решаемой задачи под текущие мощности. Меняется лишь распределение вероятностей того, кто получит вознаграждение. Следовательно, при растущих издержках майнинга, связанных со стоимостью электроэнергии и оборудования, рентабельность процесса может обеспечить растущий курс криптовалюты.

Избыточное энергопотребление – тут можно сделать переход к необходимости отслеживания курса и поиска некоторого соответствия между вложениями, ожиданиями участников сети, признанием криптовалюты и её стоимостью. В этом контексте актуальны вопросы о том, что влияет на курс биткоин, до какого предела он может расти или падать и чем вызваны колебания на криптовалютных биржах.

Исследования курса криптовалюты

На фоне активной биржевой торговли криптовалютами и размышлений об их будущем естественным образом появляются исследования динамики их курса и попытки использования математических методов для прогнозирования будущих показателей. Большинство из них лежит в области анализа временных рядов и их финансового приложения – технического анализа. Так, в работе [7] предпринята попытка разработать алгоритм на основе анализа временных рядов для прогнозирования курса криптовалюты в режиме реального времени и, следовательно, построения прибыльной стратегии биржевой торговли. Модели прогнозирования, основанные на анализе временных рядов, позволяют учесть появление дельтаобразных пиков в динамике курса криптовалюты (всплески волатильности, аномалии цен), однако, не позволяют ответить на вопрос о причинах их появления. Исследования, которые подвергают анализу причины текущих трендов, приоткрывают связь с внешними факторами, но оставляют за рамками скачки волатильности. Работа [8] выявляет связь курса с активностью сети, вниманием аудитории и макроэкономическими показателями, а в [5] содержится обзор работ по вычислению пре-

дельных цен криптовалюты на основе макроэкономических показателей и расходов на поддержание работоспособности сети. Очень грубый вывод, который можно сделать по результатам исследований состоит в прямой зависимости между курсом криптовалюты и общим экономическим ростом.

Параметры роста именно биткоин и связь с фундаментальными факторами роста позволяют оценить результаты исследования, опубликованные в [9]. Статья примечательна экспериментальными исследованиями участников сети биткоин и выявленными эффектами. Авторы предлагают агент-ориентированную модель, где майнеры и трейдеры двух типов участвуют в обороте биткоин. Главные действия майнеров, согласно модели, – добыча криптовалюты и обновление оборудования. Выход на биржу агентов этого типа осуществляется лишь тогда, когда запас денежных средств майнера опускается до нулевого значения. С течением времени биржей интересуются трейдеры – обыватели и профессионалы. Обыватели размещают заявки случайным образом, однако, профессиональные игроки формируют заявки только в случае превышения вариации цены за некоторый временной период некоторого порогового значения, и их заявки всегда соответствуют текущему тренду. В модели с дискретным временем все заявки упорядочиваются и сопоставляются друг с другом, в результате чего курс криптовалюты в модели устанавливается так же, как на валютной бирже – посредством книги заявок.

Установка модели в [9] и результаты моделирования не вызывают такого интереса, как данные, использованные при калибровке. Авторы проанализировали эволюцию вычислительной техники и транзакции биткоин, что позволило построить следующие модели:

- 1) динамики производительности и энергопотребления оборудования для майнинга с течением времени;
- 2) динамики участников сети с течением времени;
- 3) динамики майнеров и трейдеров с течением времени.

Анализ данных о работе сети биткоин показывает, что указанные выше модели носят экспоненциальный характер. Выявленные зависимости далее используются авторами для имитационного моделирования, при котором виртуальные агенты торгуют на криптовалютной бирже. На фоне экспоненциальных зависимостей полученные результаты выглядят более

чем закономерно: курс криптовалюты растёт экспоненциально. Анализ результатов [9] показывает, что с течением времени курс криптовалюты растёт с показателем экспоненты 0,0024 – близким к изменению вероятности обнаружить майнера в сети биткоин с течением времени. А с учётом того, что общее количество участников также растёт экспоненциально, и новые участники, выйдя на биржу, немедленно предъявляют спрос на криптовалюту, получается система с положительной обратной связью. С течением времени количество заявок на покупку растёт экспоненциально в соответствии с количеством трейдеров, и этот рост поддерживается профессиональными игроками, которые размещают заявки в соответствии с текущим трендом, в среднем растущим экспоненциально.

Сравнение фактического курса биткоин с результатами вычислений по модели [9] показаны на Рис. 2. В качестве прогноза модели указаны усреднённые значения по результатам 100 вычислений, проведённых авторами в соответствии процедурой Монте-Карло. Случайные колебания возникали в результате вероятностных характеристик агентов, которые позволяли внести некоторое разнообразие в популяцию.

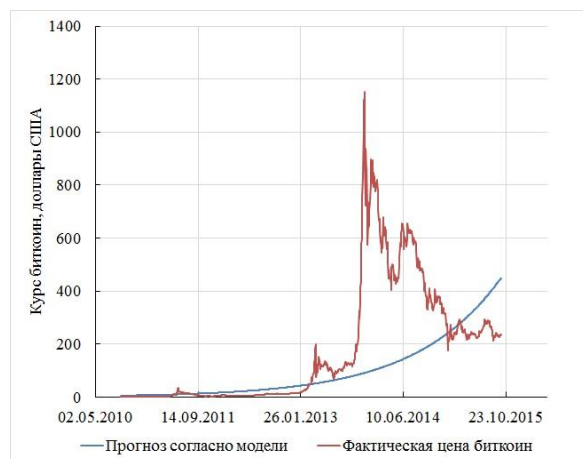


Рис. 2. Сравнение фактического курса биткоин с модельными расчётами (в соответствии с [9]).

Хотя результаты численных экспериментов в среднем предсказывают в два раза более высокий курс биткоин, чем тот, что фактически наблюдался на конец рассматриваемого периода, и модель не отражает волатильность криптовалюты, стоит сделать замечание в защиту полученного результата. Если продолжить тренд, предсказанный в [9], до октября 2017

года и сравнить его с динамикой курса биткоин, можно заметить, что рынок в своём движении опередил чрезмерно оптимистичные прогнозы (Рис. 3). Конечно, текущая тенденция не может продолжаться в долгосрочной перспективе, и бурный рост при определённых условиях может не просто замедлиться, а смениться глубоким падением. Напомним, что, согласно модели [9], рост биржевого курса обеспечивается притоком новых участников. Этот вывод строится на анализе транзакций биткоин за период 2010–2015 гг., который показывает экспоненциальный рост трейдеров с течением времени. Текущая динамика допускает, что эта тенденция сохранилась до 2017 года. При условии, что новые трейдеры привлекают для игры на бирже заёмные средства (это предположение не учтено в модели, но допустимо в действительности), в этом случае недавно присоединившиеся трейдеры станут продавать криптовалюту, минимизируя убытки, когда темпы роста упадут ниже некоторого порогового значения. Тренду на продажу последуют спекулятивные игроки, что способно ускорить падение. Падение темпов роста – ожидаемый сценарий, поскольку текущая картина опережает в динамике даже абсурдные результаты, которые можно получить в соответствии с агент-ориентированной моделью на 2021 или 2030 годы.

Учитывая полученные результаты в исследованиях криптовалют, мы полагаем, что колебания в курсе криптовалюты, в том числе, дельтаобразные пики в динамике цен, качественно объясняются дисбалансом в распределении ресурсов между виртуальным рынком – криптовалютной биржей – и реальным – сектором товаров и услуг. Распределения ресурсов проявляются не только в результате перевода денег на криптовалютную биржу, но также как следствие растущих вложений в оборудование майнеров и затрат на электроэнергию, описанных во *Введении*. В данной статье мы ограничимся простейшей моделью и демонстрацией её способностей в описании потоков ресурсов между двумя рынками.

Построение модели

Экспоненциальный в среднем рост курса биткоин экспериментально зафиксирован в 2010–2015 гг. результатами исследований [9], где обыватели, трейдеры и майнеры торгуют на криптовалютном рынке. Предложенная модель биржевого ценообразования может быть

интерпретирована как оценка погрешности измерения истинного значения рыночной стоимости криптовалют внутри экономической системы.

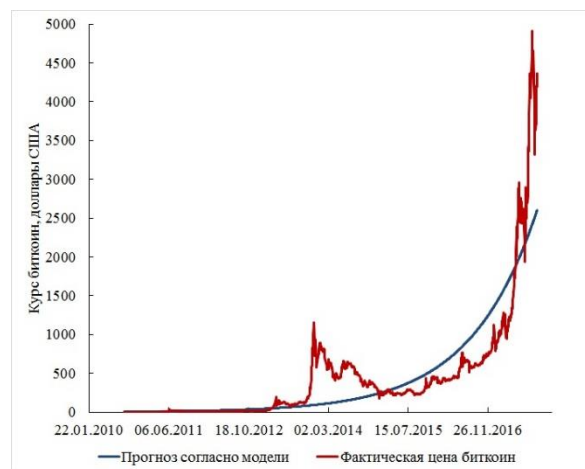


Рис. 3. Соответствие реального курса биткоин и модельного, рассчитанного по результатам исследований [9].

С точностью до изменений во времени себестоимости майнинга, результаты статьи [9] адекватны гипотезе о том, что рост курса криптовалюты (К-денег) в среднем пропорционален 1) выходу на биржу новых агентов (а следовательно сумме новых денег); 2) фиксации несмещённости системы биржевого оценивания текущей рыночной стоимости криптовалюты; 3) коэффициенту вариации ошибок оценивания биржами рыночной стоимости криптовалюты порядка 0,05 или $\pm 0,15$ по относительному допустимому интервалу отклонений от средней динамики.

Однако сравнение модельных результатов и реальной динамики курса К-денег показывает их качественную, сущностную неадекватность в части характерных для объективной реальности квазипериодических дельтаобразных (сверхэкспоненциальных) изменений курса. Техническая причина этого принципиального отличия очевидна: экзогенно заданный экспоненциальный приток F-денег обеспечивает экспоненциальный в среднем рост курса К-денег.

Менее очевидна фундаментальная причина неадекватности. По нашему мнению, она связана с попыткой оценить динамику К-валюты без учёта постоянных (не раз и навсегда заданных на старте экспонентой) обратных связей с реальным сектором. Отрезки сверхвысокой доходности (убытков) К-валюты сильно влияют на поведение агентов из реального сектора, на их «портфель».

Ниже предложена модель, изначально предполагающая главной причиной дельтаобразных подъёмов и падений курса К-денег, перетоки капиталов между реальным сектором (г-сектор) и сектором криптовалют (v-сектор).

В самом простом варианте не будем отделять классический финансовый сектор от производства и фиатные деньги (F-деньги) от товаров. Кроме того, мы принимаем большинство допущений о параметрах, выявленных в [9] из общей практики. Например, полагаем, что v-агенты превращают в К-деньги 20% капитала.

Целью данной работы является доказательство возможности объяснить появление квазипериодических дельтаобразных пиков в динамике криптовалют перетоками капитала из г-сектора в v-сектор и обратно, без дополнительных искусственных предположений.

Рассмотрим г-сектор как единое целое без разбиения на множество агентов, располагающее общим капиталом $a_0 \approx 100 \cdot 10^{12}$ \$, который до появления криптовалют растёт без кризисов по экспоненте в темпе $\sim 0,03$ в год или с показателем 0,005 за интервал в 2 месяца, принятом в [9].

Это может быть записано в двух эквивалентных формах:

$$a(t) = a_0 e^{\beta t} \quad (1a)$$

$$a_{i+1} = a_i (1 + \beta) \quad (1б)$$

где $\beta=0,03$ в случае годового периода и $\beta=0,005$ в случае двухмесячного.

В условный нулевой момент времени в системе появляются майнеры, которые пока также рассматриваются как единое целое с капиталом $b_0 = 100 \cdot 10^9$ \$, из которых 20% инвестируются в К-деньги.

Ещё раз подчеркнём, что для простоты изложения капитала a и b пока не разбиваются по агентам. Предварительно можно допустить, что разбиение, в основном, влияет на точность работы рыночных механизмов, которая интегрально может быть учтена [1,2] введением погрешности оценивания ($\delta \approx 0,05$) рыночной стоимости К-денег.

Для функционирования г-сектора важны лишь две реальные функции К-денег:

- 1) (-) они изымают и «проедают» из г-сектора некоторую долю (γ) реальных товаров (F-денег), в частности, электричество и т.д.;
- 2) (+) они увеличивают скорость оборота товаров в г-секторе.

Анализ преимуществ и недостатков криптовалюты можно встретить в соответствующих

обзорах, например, в [6], однако, зачастую эти списки состоят из более частных пунктов. В данной работе мы ограничиваемся некоторым обобщением свойств, важных при описании взаимодействия v- и г-секторов.

В формуле (1б) изъятие доли (γ) моделируется очевидным образом:

$$a_{i+1} = (1 - \gamma_i) \cdot (1 + \beta) \cdot a_i \quad (2a)$$

Позитивный эффект 2) в г-секторе от К-денег может быть учтён домножением на некоторую монотонную функцию $f(\gamma)$, обладающую двумя обязательными свойствами: $f(0) = 1$ и $f'_\gamma(\gamma) > 0$.

$$a_{i+1} = (1 - \gamma_i) \cdot f(\gamma_i) \cdot (1 + \beta) \cdot a_i \quad (2б)$$

Простейшее линейное приближение имеет вид:

$$f(\gamma) = 1 + \gamma + k \cdot \gamma \quad (3)$$

где $k > 0$ – свободный параметр.

Тогда формула (2б) преобразуется к виду $a_{i+1} = (1 - \gamma_i) \cdot (1 + \gamma_i + k \cdot \gamma_i) \cdot (1 + \beta) \cdot a_i$ (4)

Грубую оценку для k можно получить, анализируя долю финансового сектора в сложившейся экономической системе. Так, в капитализации 100 крупнейших компаний мира доля финансовых агентов $\gamma \sim 0,2 \div 0,25$. По данным Форбс за 2017 год, среди 100 крупнейших компаний мира 44 классифицируются как Major Banks, Investments Services, Regional Banks, Diversified Insurance, Life and Health Insurance, Consumer Financial Services. Крупные банки (Major Banks) занимают 27 мест из 100.

Достаточно очевидно, что каждому k в (4) соответствует оптимальное γ . Полагая, что нынешний рынок мира рационален, и, следовательно, γ и k синхронизированы, получим для годового интервала $k \sim 1$ и для двухмесячного $k \sim 0,15$.

Интересно отметить, что при $k \approx 1$ и $\gamma \approx 0,25$ отключение такого рынка от денег ($\gamma \rightarrow 0$) и полный переход на бартер должны давать годичный спад в 22%, что экспериментально наблюдалось при распаде СССР [4].

На i -шаге v-агент, вкладывая $0,2b_i$ в К-деньги (с очень низкой себестоимостью ρ_i), обменивает на $\Delta\gamma_i \cdot (a_{i+1} - a_i)$ долю прибыли ($\Delta\gamma_i$), которую г-сектор готов дополнительно вложить в К-деньги.

Информация для определения $\Delta\gamma_i$, полученная из предыдущего цикла, состоит из $\Delta a_i, g a_i = a_{i+1} - (1 + \beta i) a_i$ – гипотетическая дополнительная прибыль г-сектора от К-денег.

Таким образом, всё, что свыше 3% годовых, считается полученным в г-секторе за счёт применения К-денег. Кроме того, г-сектор располагает информацией о текущей доходности К-денег

$$\delta V_i = \frac{p_i - p_{i-1}}{p_{i-1}} \quad (5)$$

где p_i – курс К-денег.

Из всего разнообразия моделей зависимости $\Delta\gamma_i(\frac{da_i}{a_i}, \frac{ga_i}{a_i}, \delta V_i)$ выберем самую простую, полагая, что прибыль da_i распределяется между г-сектором и v-сектором в соответствии с их «капиталистически взвешенной доходностью»

$$((1 - \Delta\gamma_i) \sim W_i \frac{da_i}{a_i}, \Delta\gamma_i \sim \delta V_i),$$

где $W_i = \tau \frac{a_i}{b_i}$, τ – поправочный коэффициент.

Фактически, используется один из возможных принципов формирования «портфеля» взвешиванием доходностей с учётом суммарных оборотов на общем рынке. Параметр $\frac{ga_i}{a_i}$ может быть использован для стабилизации чрезмерной волатильности δV_i и обязателен для изменения поведения рынка после перехода точки оптимума по γ .

Характерные результаты моделирования представлены на Рис. 4 - 7.

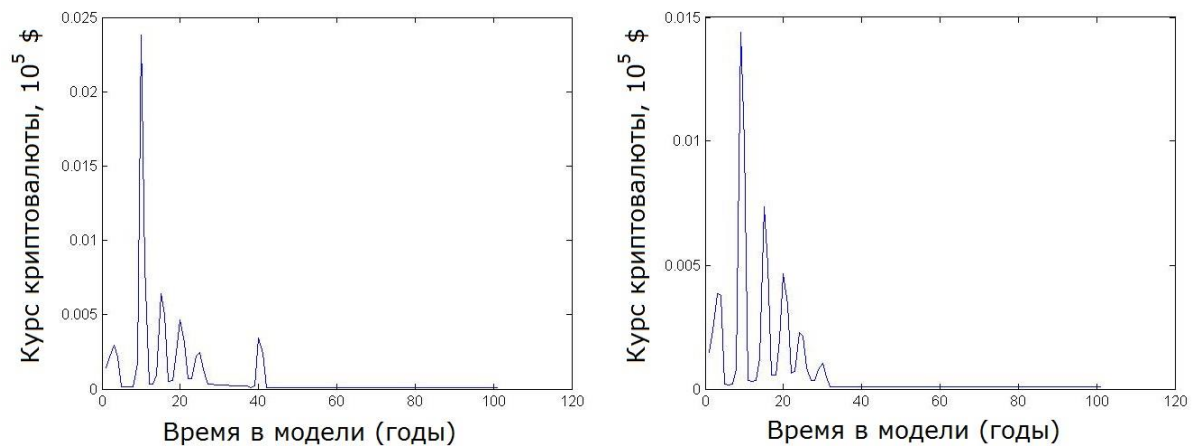


Рис. 4. Характерная динамика курса К-денег при моделировании.

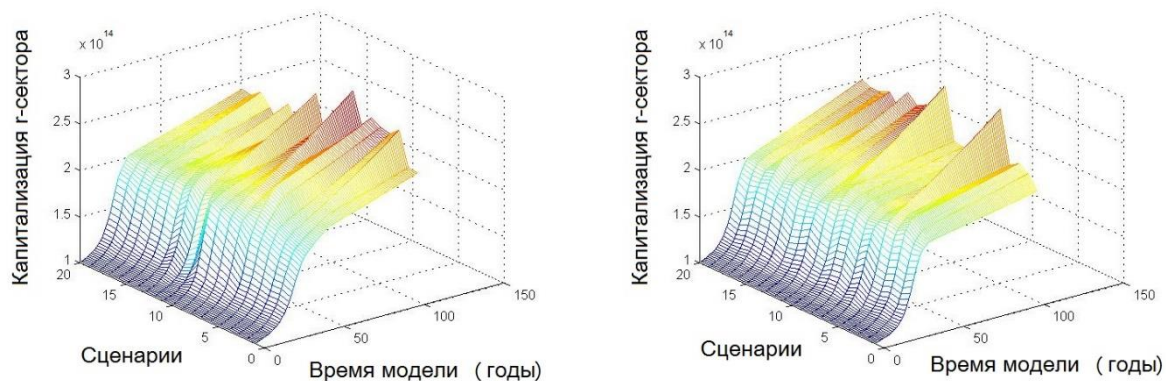


Рис. 5. Динамика капитализации г-сектора (вертикальная ось) для разных сценариев в зависимости от времени. Сценарии соответствуют различным значениям параметра k , а левый и правый рисунок соответствуют различным начальным условиям по γ .

Обсуждение результатов

Модельные расчёты начинаются с низких значений параметра γ , определяющего долю изъятий из г-сектора. При низкой цене криптовалюты в начальный момент времени, но из-за заметного влияния К-денег на роста г-сектора, эта доля начинает бурно расти. Это приводит к тому, что всё большая доля доходов г-сектора

направляется в криптовалюту, что стимулирует рост курса. Этот рост останавливается и сменяется локальным спадом в те моменты времени, когда ожидаемая доходность v-сектора существенно опережает доходность г-сектора, что приводит к сокращению абсолютных вложений в К-деньги (даже при растущей доле γ). Локальное уменьшение абсолютного

спроса на К-деньги приводит к падению курса криптовалюты при неизменном предложении v-сектора. Это соответствует случаю так называемого «неаддитивного майнинга», когда по итогам каждого периода предложение К-денег остаётся неизменным, и цена формируется только за счёт нового денежного потока в v-сектор. Краткосрочного спада в цене на К-деньги оказывается достаточно для того, чтобы г-сектор вернулся к высоким темпам роста, позволяя большую долю ресурсов направлять в v-сектор. Именно этот механизм объясняет появление дельтаобразных пиков в динамике курса К-денег.

По мере приближения значений γ к оптимальным происходит исчерпание полезности прироста К-денег и, соответственно, обнуление дополнительного спроса на К-деньги от г-сектора. Дополнительная доля г-сектора, которая вкладывается в v-сектор, теперь сокращается не за счёт изменения переменной Δa_i , как это было в случае дельтаобразных пиков, а за счёт сокращения переменной $\Delta \gamma_i$. Этот эффект приводит к падению цены К-денег до нулевого значения.

В смысле формирования квазипериодических дельтаобразных пиков модель оказывается чрезвычайно устойчивой к изменениям начальных параметров a_0, k_0, γ_0 в очень широком диапазоне. Изредка набор начальных условий приводит к быстрому обнулению капитализации v-рынка сразу после начала вычислений. Вид непрерывной выпуклой вверх функции $f(\gamma)$ также не оказывает значительного влияния на результаты моделирования.

Время жизни К-денег (от 3 до 10 лет с момента формирования первого отчётливого дельта-пика) сильно зависит от набора начальных условий и уровня ошибок оценивания баржами рыночной стоимости К-денег.

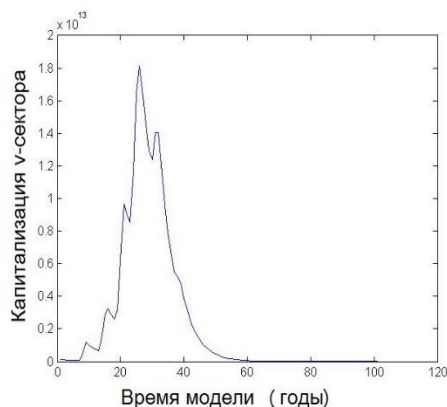


Рис. 6. Изменение капитализации v-сектора во времени для одного сценария.

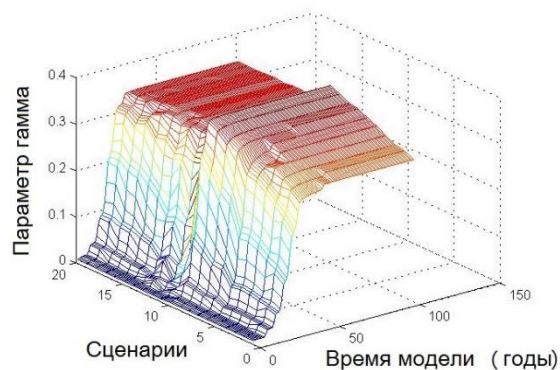


Рис. 7. Динамика параметра γ во времени для разных сценариев.

Заключение

Построенная модель взаимодействия реально-виртуальных рынков предполагает, что курс криптовалюты обеспечивается ресурсами реального сектора экономики. При этом последний получает выгоду от оборота криптовалюты в виде ускорения оборачиваемости товаров и услуг, что приводит к общему экономическому росту. Во-первых, модель показывает наличие предела в спросе на К-деньги и, следовательно, достаточно ограниченный срок жизни криптовалют. Это утверждение справедливо для случая неаддитивного майнинга и вытекает из ограниченных возможностей К-денег для ускорения роста г-сектора. Во-вторых, предложенная модель объяснения динамики курса К-денег на основе вполне естественных предположений о перетоках капитала между г- и v-секторами с использованием параметров, прямо заимствованных из реальных экономических экспериментов, вполне адекватно описывает формирование квазипериодических дельтаобразных пиков курса К-денег.

Дальнейшее уточнение одновалютной модели, в частности, сочетание с моделью [9], возможно, но вряд ли целесообразно, т.к. предварительные оценки указывают, что на динамику биткоинов (К-денег) существенно большее влияние будет оказывать его конкуренция (доля в γ) с сотней других криптовалют, что и станет предметом наших последующих исследований.

Литература

1. Грачев И.Д., Берестнев Д.А., Митин И.Н. Оптимизация виртуальных рынков // Экономический анализ: теория и практика. 2012. № 28. С. 14-22.

2. Грачев И.Д., Митин И.Н. Реально-виртуальный рынок и его оптимизация // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 18 (321). С. 13-20.
3. Леви Д.А. Перспективы признания и развития криптовалют в Европейском Союзе и странах Европы // Управленческое консультирование. 2016. № 9. С. 148-158.
4. Полтерович В. М. Экономическая реформа 1992: битва правительства с трудовыми коллективами // Экономика и математические методы. 1993. Т. 29. Вып. 4.
5. Фантаццини Д., Нигматуллин Э.М., Сухановская В.Н., Ивлиев С.В. Все, что вы хотели знать о моделировании биткойна, но боялись спросить. Часть I. // Прикладная эконометрика. 2016. Т. 44. С.5-24.
6. Abramova, S., & Böhme, R. Perceived Benefit and Risk as Multidimensional Determinants of Bitcoin Use: A Quantitative Exploratory Study // Proceedings of the International Conference on Information Systems (ICIS 2016). 2016.
7. Amjad M., Shah D. Trading Bitcoin and Online Time Series Prediction // NIPS 2016 Time Series Workshop. 2017. pp. 1-15.
8. Ciaian P., Rajcaniova M., Kancs D. The economics of BitCoin price formation // Applied Economics. 2016. Vol. 48. Issue 19. pp. 1799-1815. DOI: 10.1080/00036846.2015.1109038
9. Cocco L, Marchesi M. Modeling and Simulation of the Economics of Mining in the Bitcoin Market // PLoS ONE. 2017. Vol. 11. Issue 10. e0164603. doi:10.1371/journal.pone.0164603
10. Gao Y., Nobuhara H. A Proof of Stake Sharding Protocol for Scalable Blockchains // Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network. 2017. Vol. 44. pp. 13-16.
11. Khazraee, M., Gutierrez, L.V., Magaki, I., Taylor, M.B. Specializing a Planet's Computation: ASIC Clouds // IEEE Micro, 2017. Vol. 37. Issue 3. pp. 62-69.
12. Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008. <https://bitco.in/pdf/bitcoin.pdf>
13. O' Dwyer K. J., Malone, D. (2013, June). Bitcoin mining and its energy footprint // 25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/ CICT 2014). 2014. p. 280 – 285.
14. Tschorsch F., Scheuermann B. Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. Vol. 18. Issue 3. pp.2084-2123.

Modelling the anomalies in cryptocurrency exchange

Ivan D. Grachev, Ph.D. (phys.-math.), Dr. of Science (econ.)
e-mail: idg19@mail.ru

Ivan V. Nevolin, Ph.D. (econ)
e-mail: i.nevolin@cemi.rssi.ru

Abstract

A High attention to the cryptocurrencies stems largely from the curiosity about the underlying reasons of their popularity and about the implementations to support an economic growth. Extensive research reveals positive effects as well as obstacles due to the cryptocurrencies adoption. This publication treats the demand for cryptocurrency as a result of the interaction between the positive and negative effects in the real-virtual markets. Due to the cryptocurrency adoption the enterprises of the real economy increase their turnover. At the same time, cryptocurrency waste the resources of the real sector, while these resources are necessary for the system operation. To study the dynamics of the cryptocurrency exchange rate under the influence of these factors, simulation is involved. The simulation model proposed explains the surges of the exchange rate as a result of the difference between the returns on the two markets - real and virtual ones – and therefore as a result of cash flow amounts between these markets. It is the investments imbalance in the virtual market, according to the studies, that underlies the sudden changes in the exchange rate. The quantitative data used in calculations were revealed in the experimental studies of the bitcoin network.

This research was supported by the RFBR (RHSF) project № 16-06-00508a «Research of psychological mechanisms and factors in the formation consumer preferences in the situation substitution of imports».

Keywords: *cryptocurrency, real-virtual markets, imitation modelling*

Об авторах

Грачёв Иван Дмитриевич, к.ф.-м.н., д.э.н., главный научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва.

Неволин Иван Викторович, к.э.н., ведущий научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва.