

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 336.761.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА БИРЖЕ ЦИФРОВЫХ АКТИВОВ

А.А.Смагин

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,
г. Ставрополь

В рамках научного исследования разработана математическая модель торговой площадки с обращающимися однотипными финансовыми инструментами. Целью работы является исследование рынка ценных бумаг и цифровых активов, выявление возможности расширения существующей модели за счет дополнения обращающихся инструментов новыми, неизвестными ранее элементами. Отдельное внимание уделяется изменению поведения экономических агентов и их реакции на новые условия торговли. Сформированная модель реализует самоподдерживаемый процесс взаимной торговой деятельности контрагентов с образованием цены исключительно при помощи внутренних параметров торговой площадки. Новизна исследования заключается в применении новых переменных в математической модели существования финансовых рынков и рынков ценных бумаг, анализе результатов их внедрения. Результат исследования позволяет получить адекватно отвечающие реалиям временные ряды, статистические параметры которых удовлетворительно согласуются с данными на реальных биржах.

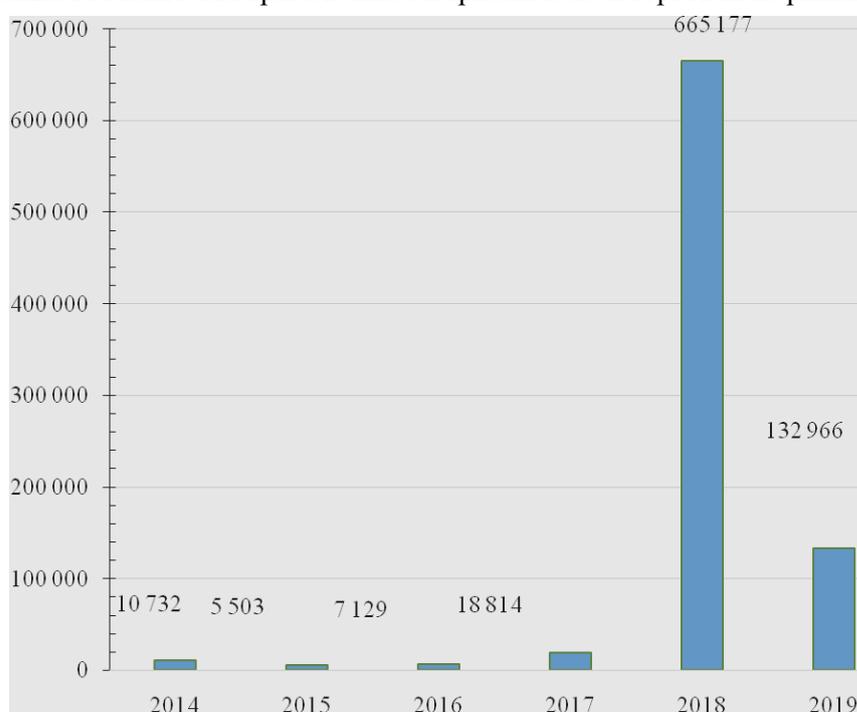
***Ключевые слова:** цифровые активы, биржевое дело, математическое моделирование, криптовалюта.*

Агентное моделирование – сформировавшееся направление в имитационном моделировании, применяемое для оценки децентрализованных систем, их динамики, функционирование которых обусловлено индивидуальной активностью членов группы, которая создает общие правила. Это комплексный подход, в котором реализуются компоненты теории игр, методы Монте-Карло и клеточные автоматы. Данный метод имитационного моделирования начал эффективно применяться с 1940-х гг. для решения общенаучных задач. Для исследования финансовых рынков – с 1990-х гг. В 2012 г. этот метод был применен для моделирования движения цен на Московской Бирже [1, с. 52–56.].

Самые разнообразные факторы в разное время оказывали неоднородное влияние на рынок, что в итоге его развития привело к такой форме, которую мы сейчас можем наблюдать в современном мире. С 2009 г. на мировом финансовом рынке появился новый вид финансовых инструментов – цифровые активы и их производные. С 2014 г. этот сегмент рынка переживает значительный рост и оказывает серьезное влияние на мировую экономическую экосистему. Логичным шагом станет применение агентного моделирования к этому сегменту, определение отличий от

моделирования классического финансового рынка и перспективы развития этого направления.

В текущей работе в рамках агентной симуляции сформирована эконометрическая модель криптовалютной биржи, на которой обращается несколько видов цифровых активов. Актуальность исследования подтверждается растущим интересом к децентрализованным финансам и новым возможностям применения алгоритмической торговли на рынках (рис. 1).



Р и с . 1. Капитализация криптовалют, млрд долл.

На графике видно, что в последние два года этот показатель колоссально увеличился. Повсеместное внедрение цифровых технологий, высокоскоростной Интернет и появление IoT (*Internetofthings*) инфраструктуры значительно увеличило спрос на цифровые активы в России и в мире [2, с. 56–60].

Модель реализована совокупностью противостоящих сторон в виде покупателей и продавцов. Каждый агент обладает собственным индивидуальным портфелем и стремится максимизировать свою прибыль при наименьших рисках. Для определения действия этих агентов используется функция полезности. Портфель состоит из нескольких видов активов. Базовый актив представлен в виде классических фиатных денег. Дополнительные формы активов представлены в виде криптовалют, которые позволяют получать доход при их продаже дороже цены покупки. При этом эмиссия криптовалюты представлена дополнительной переменной, которая может изменяться вне прямой зависимости от действий инвесторов, но косвенно с ними связана.

$$\omega(t) = \frac{\mu_i(t+1) + \frac{\delta}{P(t)} - r}{JW_i(t)\delta_i(t+1)} \quad (1)$$

где $P(t)$ – цена одной единицы криптовалюты в момент времени t ,
 δ – эмиссия, выплачиваемая за одну монету в единицу времени,
 R – безрисковая процентная ставка в единицу времени,
 $W_i(t)$ – стоимость портфеля агента в момент времени t ,
 J – коэффициент, характеризующий функцию полезности.

Каждый агент использует функцию полезности, находящуюся в прямой зависимости от стоимости его портфеля. Таким образом, настроение каждого агента зависит от периодического изменения его инвестиционного портфеля и ожидаемого в будущем результата, основанного на прогнозе цены и волатильности [4, с. 1-8].

Принимаемые решения можно отразить в виде доли стоимости криптовалют на основе математического ожидания $\mu_i(t+1)$ и дисперсии $\sigma_i(t+1)^2$ относительного изменения стоимости. Существует несколько этапов реализации этой задачи. Начнем с технического анализа, который предполагает поиск потенциально взвешенных средних значений и искомых величин. Математические то выглядит следующим образом:

$$\mu_i(t+1) = Z_i \mu_i(t) + (1 - Z_i) \theta(t), \quad (2)$$

$$\sigma_i(t+1)^2 = Z_i \sigma_i(t)^2 + (1 - Z_i) (\theta(t) - \mu_i(t))^2, \quad (3)$$

где $\theta(t)$ – относительное изменение цены, а $Z \in (0;1)$ – параметр, определяющий степень влияния последнего изменения цены на прогноз.

Инвесторы взаимодействуют друг с другом исключительно при помощи моделируемого процесса обмена заявками на бирже, который подразделяется на 4 этапа (рис. 2).



Рис. 2. Обмен заявками в модели криптовалютной бирже

В первый этап входит непосредственно выставление заявок. Сам ордер при этом состоит из нескольких элементов: количество покупаемой или продаваемой криптовалюты, цены сделки и направление (продажа или покупка).

Во второй этап включено наполнение биржевого стека. Все время пока длится торги стек собирает и хранит ордера неисполненных заявок на покупку и на продажу. Как и на реальной бирже стек собирает сформированные на первом этапе заявки, делит их по типу (на покупку или на продажу) и сортирует по увеличивающейся прогрессии по типу голландского аукциона.

Третий этап включает в себя изменение стека. В ходе торговли покупатель может повышать свою цену, а продавец понижать. В таком случае спред между заявками будет уменьшаться и как только он станет равным нулю

– происходит сделка. Чтобы отразить эту операцию в математической модели необходимо изменить полученный после второго этапа взаимодействия стек заявок.

Четвертый и последний этап включает в себя исполнение заявок. Основная сложность построения такой модели заключается в получении рекуррентных соотношений построения временных рядов исследуемой модели.

Давайте рассмотрим построение модели более подробно. Агент (i) формирует прогноз математического ожидания и дисперсии в отношении будущей цены (формулы 2 и 3). На основе этих значений для каждого инвестора определяется, сколько активов он должен приобрести (формула 1). Эту операцию можно реализовать так:

$$A_i(t+1) = \frac{\omega_i W_i(t)}{P(t)} = \frac{\mu_i(t+1) + \frac{\delta}{P(t)} - r}{JW_i(t)\delta_i(t+1)} \quad (4)$$

Далее инвестор определяет количество криптовалюты к покупке или продаже так:

$$\Delta_i(t+1) = A_i(t+1) - A_i(t) \quad (5)$$

$$P_i(t+1) = \begin{cases} P_i(t)(1 - p\varepsilon), \Delta_i > 0 \\ P_i(t)(1 + p\varepsilon), \Delta_i < 0 \end{cases} \quad (6)$$

где $\varepsilon \approx U[0,1]$ ар – цена актива на рынке.

После этого необходимо определить лучшее предложение на рынке, максимальную цену для покупки (P_{bid}) и минимальную для продажи (P_{ask}) в виде:

$$(P_{bid}) = \max \{P_i \mid \Delta_i > 0\}, \quad (7)$$

$$(P_{ask}) = \min \{P_i \mid \Delta_i < 0\}. \quad (8)$$

Процесс изменения стека может быть представлен следующей формулой:

$$P_i^*(t+1) = \begin{cases} P_{ask} - (P_{ask} - P_i(t+1))\sqrt{1 - \varepsilon}, \Delta_i > 0 \\ P_{bid} + (P_i(t+1) - P_{bid})\sqrt{\varepsilon}, \Delta_i < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Затем необходимо прописать механизм введения сделок в стек. Для решения задачи выделяются множество инвесторов, заявки которых были перекрыты внутри стека $\{\alpha\}$ – некоторое множество индексов, соответствующих «быкам» и $\{\beta\}$ некоторое множество индекса соответствующий «медведям».

Полученная модель представляет совокупность торговых контрагентов, действующих автономно, имеющих различные характеристики и взаимодействующих исключительно при помощи проводимых сделок. Каждый участник имеет в своем распоряжении портфель с безрисковым активом (валюта) и рискованным (цифровые активы). Трейдер применяет функцию полезности, в виде:

$$\pi_i(t) = \frac{\mu_i(t+1) + \frac{\delta}{P(t) - Z(t+1)} - r}{\beta W_i(t) \sigma_i^2(t+1)}$$

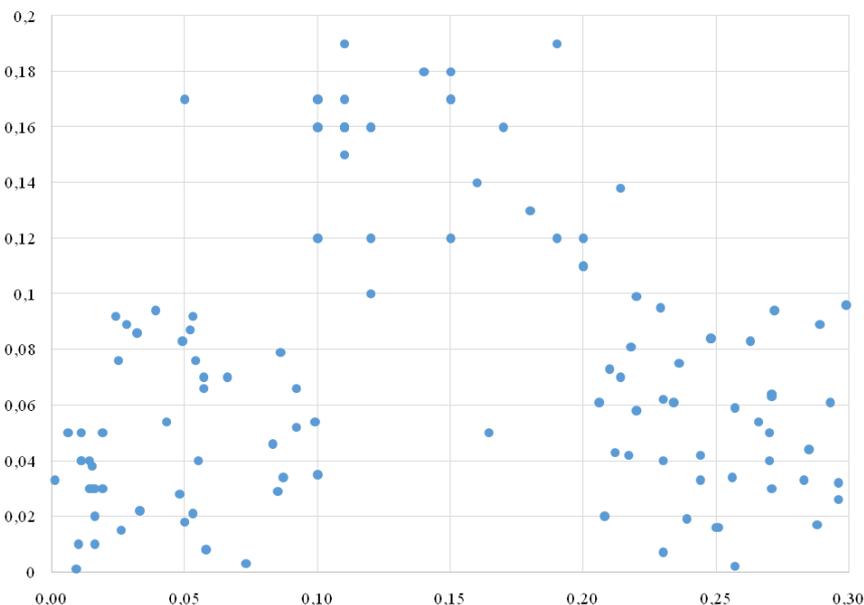
где $P(t)$ – цена акции в момент времени t , δ – вознаграждение в виде дивиденда, r – безрисковая процентная ставка, $W_i(t)$ – стоимость портфеля трейдера в момент времени t , β – коэффициент функции полезности, для определения своего поведения на бирже, Z – дисконт цены криптовалюты из-за эмиссии.

Программа реализована в среде ООП Microsoft Visual при помощи языка программирования C#, что значительно облегчает процесс исследования полученной модели.

С целью проведения численных исследований были выбраны конкретные условия:

- одинаковое распределение капитала на начальном уровне;
- нулевая банковская ставка.

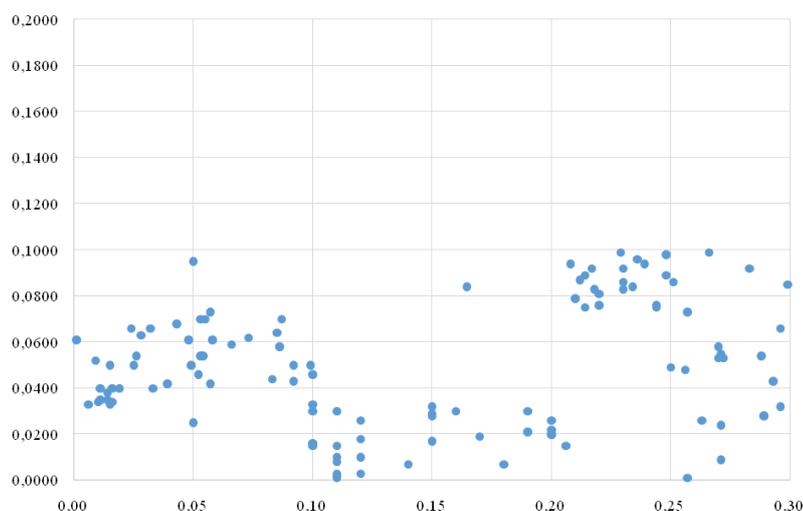
Практическим результатом разработанной программы остается возможность поиска оптимальной торговой стратегии, которая не ведет трейдера к банкротству и потере капитала. Используя элементарные условия работы на бирже, математическая задача поиска прибыльной стратегии сводится к оптимизации, в которой следует найти оптимальное τ – отношение времени продажи ко времени покупки, при котором прибыль трейдера $S(\tau)$ максимальна. В ходе оптимизации была проведена выборка 120 отношений активности по покупке и продаже финансового инструмента, а на каждую вариацию было выделено 30 запусков модели, которые усредняли значение $S(\tau)$. По оси x отложен временной ряд в секундах, по оси y отложена цена торгуемого актива (рис. 3).



Р и с . 3. Ранжирование сделок с ожиданием дополнительной эмиссии цифровых активов

Результаты эксперимента ожидаемо не принесли значительной прибыли по счету, однако в определённой мере это защищает инвестора от потери средств. Результатом моделирования стал ряд интересных выводов. В первую очередь – замкнутая система без вливаний от дополнительной эмиссии обладает своей стационарной ценой, которая окружена шумом хаотичных колебаний. При анализе автокорреляционной функции было выявлено, что она зависит от коэффициента отклонения цен (рис. 4).

При небольших значениях (0.01–0.2), условно говоря – низкому шуму, наблюдается значительная автокорреляция вплоть до лага в 100 тиков (вменённой ряду модели). Увеличение этого параметра (0.3–0.4) приводит к уменьшению автокорреляции вплоть до отрицательных значений при малых лагах. Значительное увеличение (0.6–0.7) приводит к отсутствию автокорреляции даже на небольших лагах. Данные результаты наглядно демонстрируют схожесть поведения модели с работой реальной биржи.



Р и с . 4. Ранжирование сделок без ожидания дополнительной эмиссии цифровых активов

Таким образом, автором установлено, что дополнительную эмиссию в цифровых активах можно сравнить с выплатами дивидендов по классическим акциям на рынке ценных бумаг. Инвесторы реагируют схожим образом, увеличивая свой интерес в моменты возможности получения дополнительных средств, при этом используя минимальный модификатор риска. Создание такой модели помогает лучше понимать основы работы формирующегося рынка цифровых активов.

Список литературы

1. Кузнецов В.А. О возможных сценариях законодательного регулирования цифровых валют в России / В.А. Кузнецов, Р.А. Прохоров, А.В. Пухов // Деньги и кредит. 2017. № 7. С. 52–56.
2. Кузнецов И.В. Роль Bitcoin и других криптовалют в мировой экономике // Страхование право. 2017. № 3. С. 56–60.

3. Кузнецова Л.Г. Криптовалюта p2p: безопасность или развитие // Финансы и кредит. 2017. № 47. С. 2810–2822.
4. Стеряков Александр Александрович Имитационное моделирование фондовых рынков // Вестник СГАУ. 2012. №2 (33).

Об авторе:

СМАГИН Александр Алексеевич – аспирант, Ставропольский государственный аграрный университет, e-mail: tomanow91@gmail.com

TRADE ACTIVITIES MODELLING AT THE DIGITAL ASSET STOCK EXCHANGE

A.A. Smagin

Stavropol State Agrarian University, Stavropol

The research develops a mathematical model of the trading platform. The purpose of the work is to study the market of securities and digital assets, to identify the possibility of expanding the existing model by adding new, unknown elements to the circulating instruments. Special attention is paid to changing the behavior of economic agents and their response to new terms of trade. The formed model implements a self-supported process of mutual trade activity of counterparties, with formation of a price exclusively by means of internal parameters of the trading platform. The novelty of the study consists in the application of new variables in the mathematical model of financial and securities markets and analysis of the results of their implementation. The result of the study allows to obtain adequately corresponding real time series, statistical parameters which are satisfactorily consistent with the data on real exchanges.

Keywords: *digital assets, stock exchange business, mathematical modeling, crypto.*

About the author:

SMAGIN Aleksandr Alekseevich – Postgraduate Student, Stavropol State Agrarian University, e-mail: tomanow91@gmail.com

References

1. Kuznecov V.A. O vozmozhnyh scenarijah zakonodatel'nogo regulirovanija cifrovyyh valjut v Rossii / V.A. Kuznecov, R.A. Prohorov, A.V. Puhov // Den'gi i kredit. 2017. № 7. S. 52–56.
2. Kuznecov I.V. Rol' Bitcoin i drugih kriptovaljut v mirovoj jekonomike // Strahovoe pravo. 2017. № 3. S. 56–60.
3. Kuznecova L.G. Kriptovaljuta p2p: bezopasnost' ili razvitie // Finansy i kredit. 2017. № 47. S. 2810–2822.