

Моделирование процессов арбитража при торговле цифровыми активами

А.А. Громковский, e-mail: aag68@bk.ru

А.В. Москаленко, e-mail: a.moskalenko.pm@gmail.com

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж,
Россия

***Аннотация.** В работе предложено решение задачи арбитража торговли цифровыми активами на основе формальных моделей для ручного и автоматического вариантов реализации. Бизнес-процесс арбитража цифровых активов был формализован посредством моделей в нотации BPMN. Непосредственное описание процесса реализовано бизнес-моделью в форме «As Is». На основе формы «As Is» была построена модель в форме «To Be». Построенная модель послужила основой для проектирования архитектуры информационной системы, модели данных и построения алгоритма нахождения прибыльных вилок.*

***Ключевые слова:** Валютный арбитраж, моделирование, бизнес-процессы, информационные системы, BPMN, графы.*

Введение

Торговля цифровыми активами является одним из основных способов заработка в сети Интернет. В 2021 году по версии сайта tadviser объём рынка цифровых активов приблизился к значению в 3 триллиона долларов США. В этом же году данный рынок привлёк инвестиций на сумму более чем 30 миллиардов долларов [1].

Цифровые активы получили своё развитие в цифровой экономике в 2011 году, после публикации статьи «Crypto Currency» Энди Гринберга в журнале Forbes [2]. В 2017 году начала набирать популярность добыча цифровых активов (так называемый майнинг). Данный процесс вызвал подорожание видеокарт, ввиду активного их использования в майнинг-фермах. На конец 2022 года многие компании и предприниматели инвестируют в цифровые валюты, или даже создают свои активы, как например, Павел Дуров, основатель социальной сети «ВКонтакте» и мессенджера Telegram, благодаря которому была создана сеть TON (Telegram Open Network) для реализации операций обмена цифровыми активами посредством одноимённой цифровой валюты.

Государство признаёт экономическую значимость цифровых активов: регулирование использования цифровых валют и

налогообложение прибыли, полученной в результате торговли цифровыми активами в Российской Федерации осуществляется на основе 259-ФЗ «О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», принятого в 2020 году [3].

Номинальная стоимость цифровых активов регулируется людьми, являющихся держателями этих активов. Это означает, что у данного рынка отсутствует какой-либо централизованный регулятор. По этой причине, в зависимости от доверия пользователей к тому или иному активу, его цена может достаточно сильно варьироваться, относительно цен на существующие мировые валюты. На платформах различных операторов цены на одни и те же цифровые активы могут отличаться. Совокупность данных факторов обуславливает возможность реализации процесса арбитража цифровых валют.

Моделирование процесса арбитража при торговле цифровыми активами предполагает реализацию следующих этапов:

- описание сущности работы арбитража цифровых активов;
- построение модели процесса арбитража цифровых активов;
- реализация архитектуры информационной системы для автоматизации процесса арбитража торговли цифровыми активами;
- обобщение результатов моделирования с целью выявления перспектив автоматизации процесса арбитража цифровых активов.

1. Моделирование процесса арбитража цифровых валют

При построении модели процесса арбитража цифровых валют были использованы основные понятия, приведённые в табл. 1:

Таблица 1

Основные понятия

Термин	Определение
Арбитраж цифровых валют	Это механизм заработка на основе разницы курсов цифровых валют у различных операторов
Stable Coin	Цифровая валюта, стоимость которой привязана к реальной валюте какой-либо страны. При решении задачи моделирования была использована валюта USDT, стоимость которой эквивалентна 1 доллару США
Пара	Числовое отношение стоимости двух цифровых валют, определяющее курс валют друг относительно друга
Круг	Цикл приобретения цифровой валюты за stable coin, перевод валюты на другую платформу, совершение операций обмена на иные цифровые валюты и конечный обмен на изначальный stable coin
Вилка	Набор пар, которые будут использоваться в круге
Длина вилки	Количество пар, которые составляют набор вилки

Для выявления сущности процесса арбитража, рассмотрим упрощённый пример выполнения круга. Апостериори известно, что данный круг генерирует прибыль. Пары для цифровых валют на двух биржах показаны в табл. 2 и табл. 3. Приведённые данные максимально приближены к реальной ситуации по состоянию на август 2022 года.

Таблица 2

Котировки цифровых валют на бирже 1

Биржа 1	ETH	BTC	LTC	BNB	NEO	USDT
ETH	-	0,0718 41	-	-	-	1665,73
BTC	13,919 62807	-	377,21 61449	72,458 5175	2016,1 29032	23187,4 2
LTC	-	0,0026 51	-	-	-	-
BNB	-	0,0138 01	-	-	-	-
NEO	-	0,0004 96	-	-	-	-
USDT	0,0006 003373 896	0,0000 431268 3343	-	-	-	-

Таблица 3

Котировки цифровых валют на бирже 2

Биржа 2	ETH	BTC	LTC	BNB	NEO	USDT
ETH	-	0,0718 430000				1665,91 00000
BTC	13,919 24057	-	376,93 17753	72,453 26764	2008,0 32129	23187,4 5
LTC		0,0026 53	-			
BNB		0,0138 02		-		
NEO		0,0004 98			-	
USDT	0,0006 002725 237	0,0000 431267 7763				-

Из табл. 2 и табл. 3 видно, что курсы цифровых валют на двух биржах отличаются, причём отличия достаточно небольшие. Это является нормой для рынка цифровых активов и определяет особенность решения поставленной задачи.

Отношения цифровых валют в виде пар можно представить в виде ориентированного графа. Данный граф представлен на рис. 1. Рёбра

красного цвета показывают отношение активов в паре для первой биржи. Рёбра синего цвета показывают отношение активов в паре для второй биржи. Числа рядом с рёбрами показывают, сколько единиц актива, указанного в начальной вершине, можно приобрести за одну единицу актива, указанного в конечной вершине.

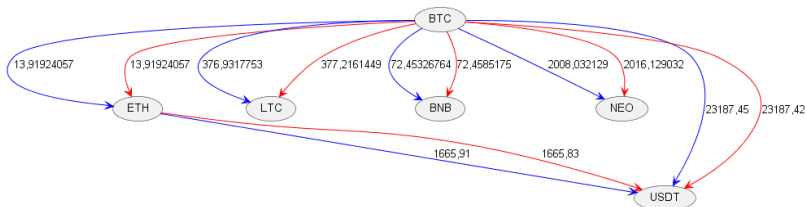


Рис. 1. Граф котировок цифровых валют

Граф, приведённый на рис. 1 является упрощённым. Для решения реальных задач арбитража цифровых активов предполагается использовать полный граф, отражающий все взаимосвязи для котировок цифровых валют. Проведение анализа пар на основе имеющихся данных позволяет определить вилки, которые должны генерировать прибыль. Для рассматриваемого примера генерировать прибыль могут вилки, изображённые на рис. 2:

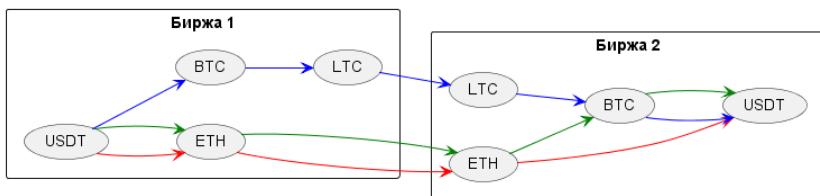


Рис. 2. Вилки, генерирующие прибыль

Реализация операции последовательного приобретения активов в вилках позволяет выполнить круг и извлечь прибыль.

Проведённый анализ демонстрирует действительную возможность получения прибыли при реализации процесса арбитража цифровых активов.

С учётом полученного вывода необходимо разработать модель, показывающую, какие именно процессы должны быть реализованы для одного круга с целью извлечения прибыли.

Модель процесса арбитража торговли цифровыми активами была построена в нотации BPMN для случая неавтоматизированной

обработки информации, то есть в формате «As is» и изображена на рис. 3.

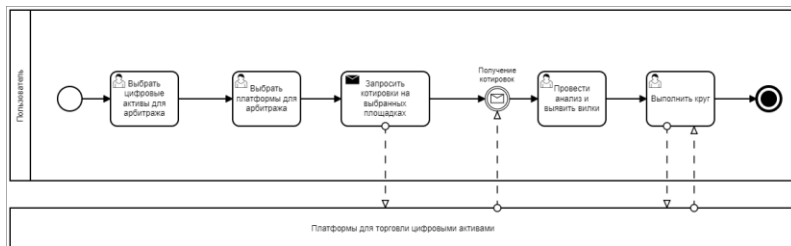


Рис. 3. Модель процесса арбитража цифровых активов в нотации BPMN формата «As Is»

Моделируемый процесс при неавтоматизированном выполнении требует затрат значительного количества времени. Так, на примере котировок из табл. 2 и табл. 3, неподготовленному респонденту понадобилось 3 минуты, чтобы найти все вилки для 6 видов активов на 2 платформах в рамках упрощённой модели. При увеличении количества цифровых валют и количества платформ затраченное время не будет возрастать линейно. Это связано с тем, что вычисление вилок для набора пар – сложный процесс. Он представляет собой задачу поиска самого длинного пути в ориентированном графе. Такие задачи решаются с помощью динамического программирования.

Для реализации процесса арбитража время является ключевым фактором. Это обусловлено быстрым варьированием цен на цифровые активы. Для уменьшения временных затрат необходимо спроектировать модель информационной системы, способной выполнять операции, связанные с анализом котировок и выполнением кругов в автоматическом режиме. Модель бизнес-процесса арбитража при торговле цифровыми активами в форме процесса «To Be», приведена на рис. 4.

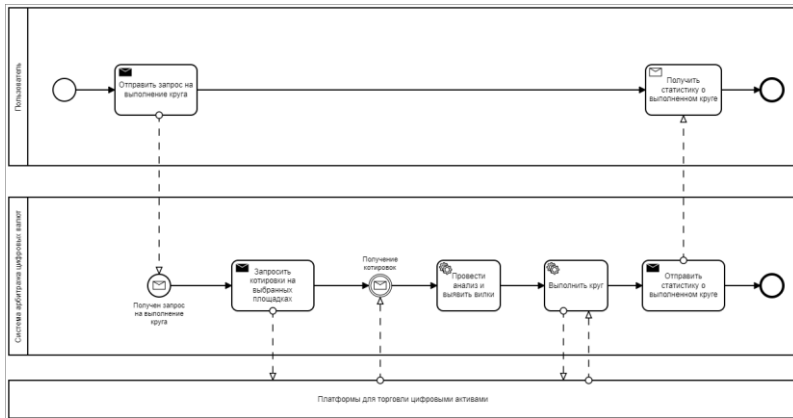


Рис. 4. Модель процесса арбитража цифровых активов в нотации BPMN формата «To Ve»

На рис. 5 представлена архитектура информационной системы, для автоматизированного сбора и обработки информации по котировкам цифровых активов, а также их приобретения.

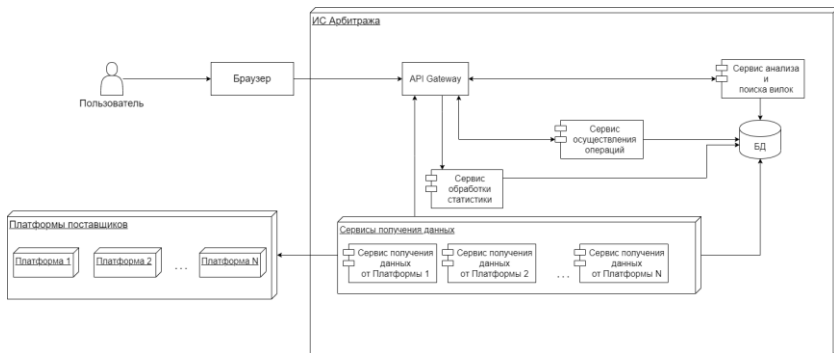


Рис. 5. Архитектура Информационной Системы для осуществления арбитража цифровых активов

В табл. 4 представлено функциональное описание каждого компонента системы.

Таблица 4

*Описание компонентов информационной системы арбитража
цифровых валют*

Компонент	Описание
API Gateway	Программный интерфейс, реализующий взаимодействие отдельных компонентов информационной системы арбитража
Сервис операций	Сервис, предназначенный для автоматического проведения всех необходимых операций с целью выполнения круга и извлечения прибыли
Сервис анализа и поиска вилок	Сервис, предназначенный для анализа собранных данных из разных платформ, поиска вилок для полученного набора информации и оповещения сервиса операций о найденных вилках
Сервис обработки статистики	Сервис, предназначенный для предоставления пользователю статистической информации о найденных вилках и фиксации полученной прибыли
Сервисы получения данных	Совокупность сервисов, каждый из которых предназначен для фиксации котировок одной конкретной платформы и сохранения этой информации в базу данных

Для выявления вилок, на основе которых реализуется круг, была построена модель данных. Она выполнена на основе информации, которую можно получить с помощью выполнения запроса к API практически любой платформы торговли цифровыми активами. Модель данных представлена в виде ER-диаграммы на рисунке 6.

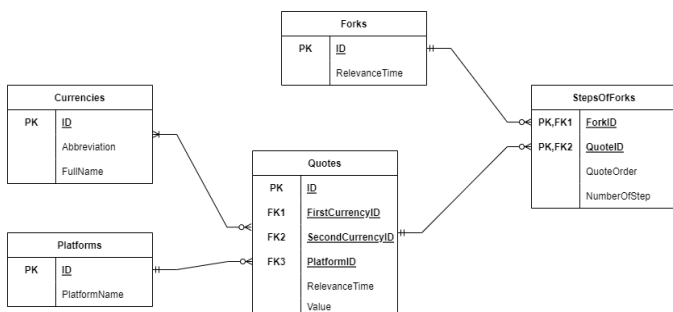
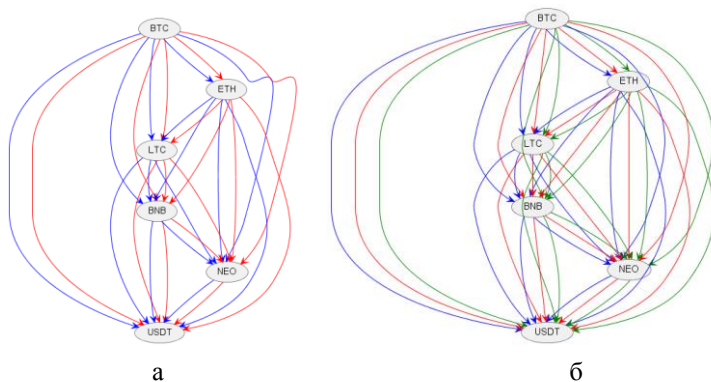


Рис. 6. ER-диаграмма, описывающая модель данных ИС арбитража цифровых валют

Котировки валют можно представить в виде ориентированного взвешенного графа. Особенностью данного графа является наличие между двумя вершинами графа нескольких связей. Количество связей определяется числом платформ торговли цифровыми активами. На рис. 7 изображены графы для описания моделей арбитража с 6 цифровыми активами на 2 и 3 платформах.



а – граф, описывающий модель арбитража с 6 цифровыми активами на 2 платформах, б – граф, описывающий модель арбитража с 6 цифровыми активами на 3 платформах

Рис. 7. Графы, описывающие модели арбитража

На основании анализа графов на рис. 7 видно, что подключение большего количества платформ будет увеличивать число потенциальных вилок, которые, по сути своей, будут являться вариантами обхода графа.

При этом количество необходимых вычислительных операций будет возрастать.

На основе операционных данных был построен алгоритм, с помощью которого можно находить вилки, генерирующие прибыль. При реализации последовательности обработки пар можно определять количество цифровых валют, используемых в одной вилке, не включая stable coin. Этот параметр задаёт глубину обхода графа. После нахождения потенциальных вилок, необходимо произвести расчёт значения эквивалента относительно stable coin по потенциальным вилкам. Если в случае выполнения круга в рамках расчёта начальный баланс увеличивается, вилка признаётся релевантной и сохраняется. Такую вилку можно использовать для генерации прибыли. Графическая форма представления алгоритма определения потенциальных вилок для данных котировок приведена на рис. 8.

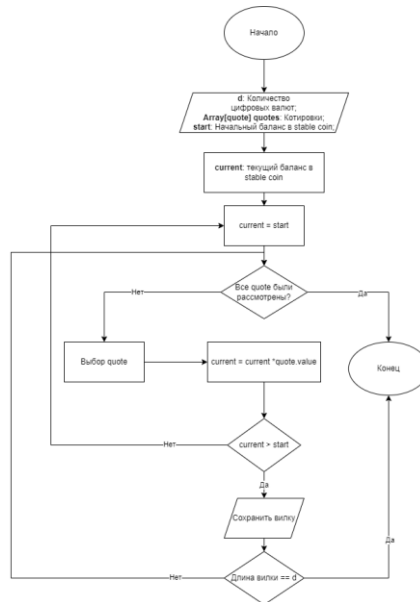


Рис. 8. Алгоритм выявления и сохранения вилок

Жизненный цикл одной вилки является крайне непродолжительным. Следует учитывать, что платформа взимает комиссию за каждую операцию. Поэтому, для уменьшения временных затрат и снижения комиссии необходимо стремиться к уменьшению длины вилки.

На основе опыта проведения операций с цифровыми активами можно прийти к выводу, что эмпирически приемлемая длина вилки должна составлять от 2 до 3 пар. Это обусловлено возрастанием количества необходимых вычислений и увеличением размера комиссии платформ торговли цифровыми активами.

Заключение

Исследование процесса арбитража цифровых активов представляет собой актуальную научно-практическую задачу. В работе предложено решение данной задачи на основе разработки формальных моделей для ручного и автоматического вариантов выполнения. Бизнес-процесс арбитража цифровых активов был формализован посредством моделей в нотации BPMN. Непосредственное описание процесса реализовано бизнес-моделью в форме «As Is». На основе формы «As Is» была построена модель в форме «To Be». Построенная модель послужила основой для проектирования архитектуры информационной системы, модели данных, и построения алгоритма нахождения прибыльных вилок.

Дальнейшее развитие задачи исследования процесса арбитража цифровых активов может быть направлено на построение оптимальных алгоритмов поиска вилок, нахождение коммерческих каналов реализации построенных алгоритмов, их применение на практике.

Список литературы

1. Криптовалюты [Электронный ресурс] : Tadviser – Интернет-портал – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/611202>
2. Гринберг, Э. Crypto Currency [Электронный ресурс] : Forbes, 2011. – Режим доступа : <https://www.forbes.com/forbes/2011/0509/technology-psilocybin-bitcoins-gavin-andresen-crypto-currency>
3. Федеральный закон от 31.07.2020 г. № 259-ФЗ «О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // СПС «КонсультантПлюс».
4. Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению / К. Вигерс, Д. Битти. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 736 с.
5. Репин В. Бизнес процессы. Моделирование, внедрение, управление / В. Репин. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 470 с.
6. Ковалёв, С. Настольная книга аналитика. Практическое руководство по проектированию бизнеспроцессов и организационной структуры / С. Ковалев, В. Ковалев. – М. : ИСПублишинг, 2021. – 360 с.