

Санкт-Петербургский государственный университет

Программная инженерия

Чугаев Анатолий Александрович

Обнаружение арбитражных возможностей  
и анализ результатов арбитража для  
криптовалютных бирж

Бакалаврская работа

Научный руководитель:  
ст. преп. Кириленко Я. А.

Рецензент:  
Руководитель филиала ООО «ДиЭсЭкс ТЕХНОЛОДЖИЗ ЛИМИТЕД» Мавчун Г. В.

Санкт-Петербург  
2019

SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Software engineering

Chugaev Anatoly

Detection and analysis of arbitrage  
opportunities for cryptocurrency exchanges

Graduation Thesis

Scientific supervisor:  
Senior lecturer Iakov Kirilenko

Reviewer:  
Head of the branch DSX Technologies Limited George Mavchun

Saint Petersburg  
2019

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>4</b>
<b>1. Постановка задачи</b>	<b>5</b>
<b>2. Обзор предметной области и существующих решений</b>	<b>6</b>
2.1. Обзор предметной области . . . . .	6
2.2. Обзор существующих решений . . . . .	7
2.2.1. Программа «Межбиржевой арбитражер криптовалюта» . . . . .	7
2.2.2. Программа «Arbitrage Crypto Trader» . . . . .	8
2.3. Выводы . . . . .	10
<b>3. Архитектура</b>	<b>11</b>
3.1. Используемые технологии . . . . .	12
<b>4. Реализация</b>	<b>14</b>
4.1. Модуль сбора данных . . . . .	14
4.2. Визуализация . . . . .	15
<b>5. Апробация</b>	<b>18</b>
<b>Заключение</b>	<b>23</b>
<b>Список литературы</b>	<b>24</b>

# Введение

Межбиржевой арбитраж – это торговая стратегия, смысл которой заключается в покупке цифровой валюты на одной бирже дешевле и продаже этой валюты на другой бирже дороже. Возможность арбитража существует и на фондовом рынке, однако рынок криптовалют более интересен тем, что на данном рынке отсутствуют финансовые регуляторы, скорость транзакций значительно выше, чем на фондовом рынке, а поставка денег осуществляется в момент совершения сделки. Задача арбитража является актуальной задачей, потому что уже сейчас капитализация данного рынка составляет более 100 млрд. долларов США, а суточный объем торгов оценивается в несколько десятков млрд. долларов США [22].

Существует несколько вариантов реализации идеи межбиржевого арбитража. Один из них заключается в нахождении выгодной арбитражной возможности и последующей её реализации путем покупки цифровой валюты на одной бирже и её перевода на другую биржу для моментальной продажи по более высокой цене. Однако у этого варианта есть существенный недостаток – за то время, пока осуществляется перевод валюты с одной биржи на другую, цена валюты может измениться и трейдер может понести убытки.

Чтобы избежать данной проблемы, можно использовать другую стратегию, суть которой заключается в предварительном анализе арбитражных возможностей для выявления таких пар бирж и пар валют, на которых данная возможность сохраняется некоторое время. Далее на каждую биржу переводятся средства и при появлении арбитражной возможности происходит покупка валюты на одной бирже и сразу же продаже этой же валюты на другой бирже. Таким образом сделка происходит практически “моментально”. После остается восстановить баланс валют на биржах и совершать сделки дальше, или, если данная пара бирж исчерпала возможности арбитража, тогда переходить на другую пару.

# 1. Постановка задачи

Целью данной работы является реализация программной системы для поиска возможностей межбиржевого арбитража. Для ее достижения были сформулированы следующие задачи.

- Произвести анализ предметной области и обзор существующих решений.
- Разработать архитектуру программной системы.
- Реализовать программную систему.
- Провести апробацию системы.

## 2. Обзор предметной области и существующих решений

### 2.1. Обзор предметной области

Арбитраж – это покупка валюты на одном валютном рынке с одновременной продажей ее на другом валютном рынке в целях извлечения прибыли на разнице в валютных курсах на разных рынках.

Волатильность – статистический финансовый показатель, характеризующий изменчивость цены.

Криптовалюта – разновидность цифровой валюты, создание и контроль за которой базируются на криптографических методах. Функционирование данных систем основано на таких технологиях как блокчейн, направленный ациклический граф, консенсусный реестр.

Объём торговых операций – это количество единиц актива, обмениваемых в заданный промежуток времени. Чаще всего объём торговых операций считают за 24-часовой период, хотя недельные и месячные отрезки также распространены [21].

Валютная пара/инструмент – это отношение цен двух валют, входящих в данную пару. Первая валюта в паре называется базовой, а вторая – котируемой.

Биржевой стакан – это таблица заявок на покупку/продажу, при этом строка данной таблицы состоит из цены и объема торгуемого актива. В случае с валютными парами цена задается в котируемой валюте, а объем в базовой.

Биржевой стакан формируется следующим образом: клиент создаёт заявку на куплю/продажу, в которой он указывает цену и количество криптовалюты. Далее заявка обрабатывается биржей по следующему алгоритму: ищется подходящая заявка в списке заявок (если это заявка на продажу, то будут подходить заявки с ценой, равной цене, указанной клиентом, и выше, если это заявка на продажу, то будут подходить заявки с ценой равной указанной клиентом или ниже), если не удастся найти подходящую, то заявка размещается в биржевом стакане. Исто-

рия сделок хранит все сделки клиентов на покупку/продажу с их ценой и количеством валюты.

## **2.2. Обзор существующих решений**

Перед решением поставленной задачи был произведен обзор существующих решений, цель которого заключалась в анализе преимуществ и недостатков возможностей данных решений. Ниже приведён разбор этих решений.

### **2.2.1. Программа «Межбиржевой арбитражер криптовалют»**

“Межбиржевой арбитражер криптовалют” – система которая предназначена для поиска арбитражных возможностей между разными биржами[19]. Пример пользовательского интерфейса на рис. 1.

Преимущества:

- Большое количество поддерживаемых бирж
- Детальная настройка (возможность выбрать биржи и валютные пары, фильтрация по проценту прибыли, выбор времени обновления данных)
- Логирование арбитражных возможностей

Недостатки:

- Отсутствует возможность визуализации арбитражных возможностей
- Платная лицензия

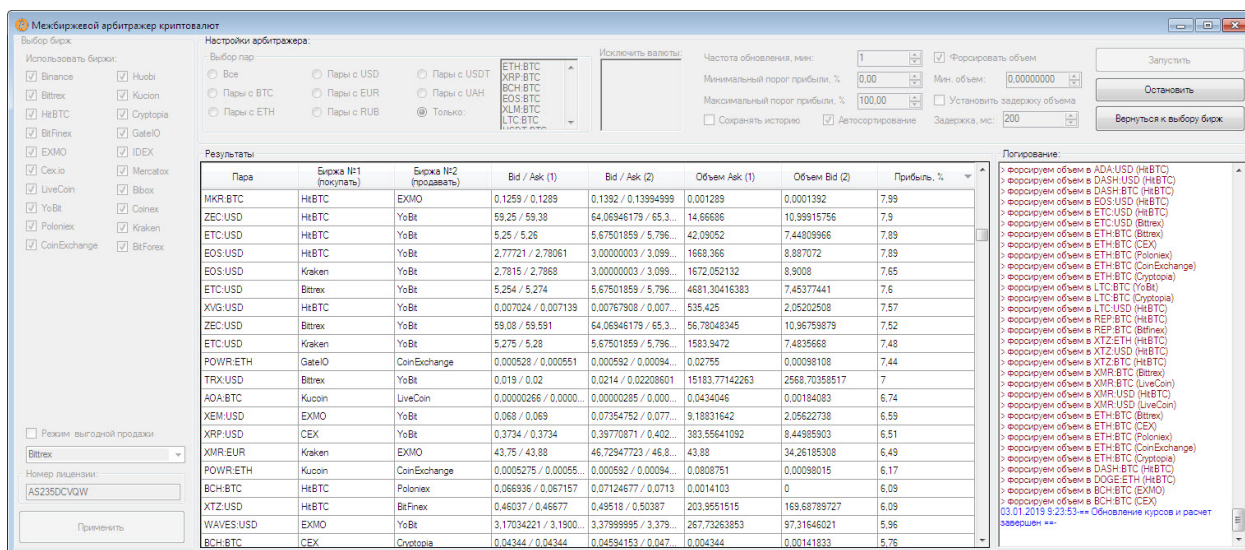


Рис. 1: Рабочее окно программы “Межбиржевой арбитраж криптовалют” (рисунок взят с сайта [19])

## 2.2.2. Программа «Arbitrage Crypto Trader»

Arbitrage Crypto Trader - это платформа для удобной межбиржевой арбитражной торговли[2]. Пример пользовательского интерфейса на рис. 2.

Преимущества:

- Большое количество поддерживаемых бирж
- Большое количество поддерживаемых валют
- Детальная настройка (возможность выбрать биржи и валютные пары, фильтрация по проценту прибыли, выбор времени обновления данных)
- Визуализация арбитражных возможностей
- Автоматическая и ручная торговля
- Кроссплатформенность программы

Недостатки:



- Платная лицензия (для получения функциональности автоматического режима торгов)
- Дополнительная комиссия авторам программы за свои сделки

The screenshot displays the Arbitrage Crypto Trader interface, split into two main trading panels: Bittrex (left) and Binance (right). Each panel includes account balances, commission rates, and a detailed order book for BTC/USD and BTC/USDT pairs. The Bittrex panel shows a 24h change of -3.29% for USD/BTC and -3.49% for BTC/USD. The Binance panel shows a 24h change of -0.64% for BTC/USD. Both panels feature 'Купить BTC' (Buy BTC) and 'Продать BTC' (Sell BTC) sections with input fields for price, quantity, and sum, along with percentage selection buttons (25%, 50%, 75%, 100%). The order books list price, quantity, and time for various orders. At the bottom, there are tabs for 'Open Orders', 'Trade History', and 'Funds'.

Рис. 2: Рабочее окно программы Arbitrage Crypto Trader (изображение взято с сайта [20])

	Межбиржевой арбитражер криптовалют	Arbitrage Crypto Trader
Сбор данных, логирование	+	+
Анализ арбитражных возможностей	+	+
Визуализация	–	+
Торговля	–	+
Лицензия	платная	платная + комиссия
Кроссплатформенность	–	+
Открытый исходный код	–	–

Таблица 1: Сравнение решений для межбиржевого арбитража криптовалют

### 2.3. Выводы

После проведения анализа существующих решений были сделаны следующие выводы:

- существующие решения не имеют возможности настройки модели и оценки рисков совершения арбитражных сделок
- имеют платные лицензии или берут дополнительную комиссию при совершении сделок
- все имеют закрытый код, что не позволяет адаптировать их под свои нужды и обеспечить достаточный уровень доверия к ПО

### 3. Архитектура

Поскольку для стратегии арбитража необходимо иметь историю торгов криптовалютных бирж, первым делом было принято решение о создании приложения, обладающего минимальной необходимой функциональностью, для того чтобы начать собирать данные как можно раньше. Таким образом, разработка программного продукта проводилась в два этапа.

1. Разработка приложения с минимальной функциональностью:
  - Реализация скриптов на Python для получения данных с бирж
  - Визуализация полученных данных
2. Разработка программной системы с полной функциональностью:
  - Проектирование архитектуры программной системы
  - Реализация модуля для получения данных с бирж и анализа арбитражных возможностей в режиме реального времени
  - Визуализация полученных данных

На данный момент система поддерживает работу со следующими биржами: Binance [3], Bitfinex [4], Bittrex [5], CEX [6], Hitbtc [9], Huobi [10], Kraken [13], Kucoin [14], Liquid [15], Poloniex [16]; и следующими финансовыми инструментами: ETHBTC, BCHBTC, XLMBTC, XLMETH, XRPBTC, XRPETH, EOSETH, EOSBTC.

Для анализа рынка пользователю доступно два способа:

- Визуализация курсов криптовалют и разницы цены покупки на одной бирже и продажи на другой бирже.
- История изменения курса и арбитражных возможностей в формате csv, подходящем для дальнейшего анализа.

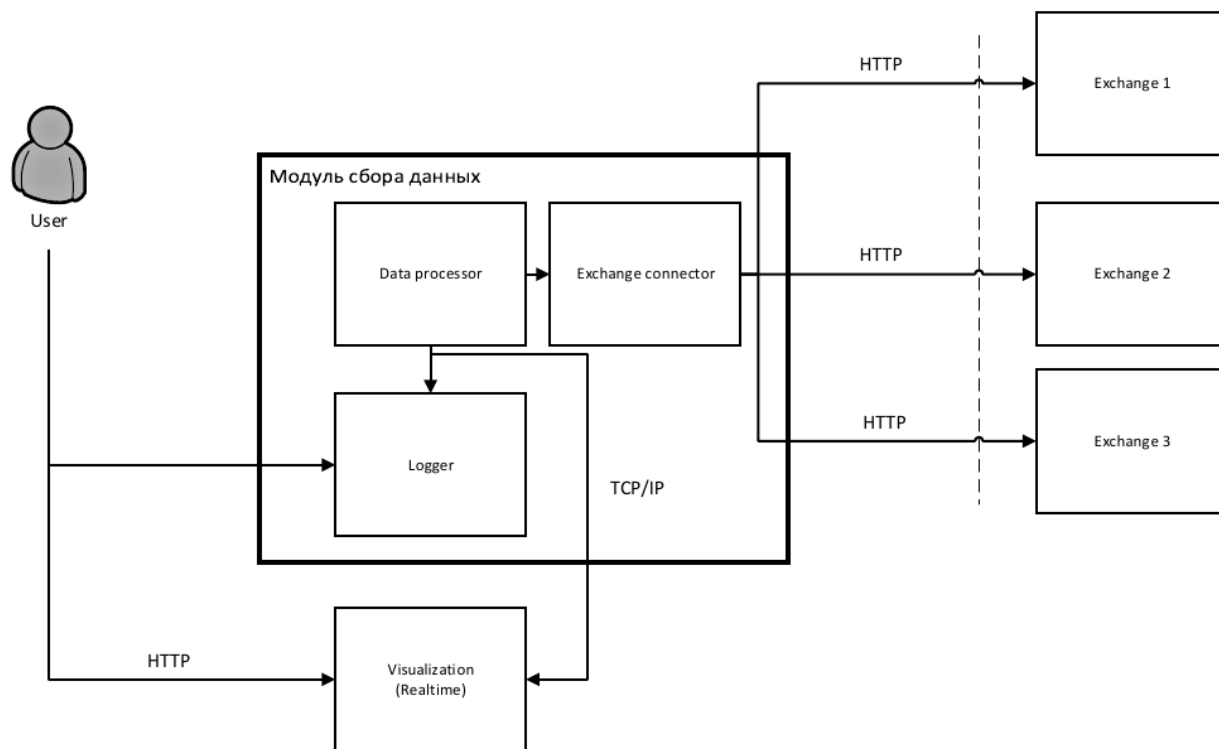


Рис. 3: Диаграмма архитектуры программной системы

### 3.1. Используемые технологии

При реализации программного продукта были использованы следующие технологии:

- Grafana - веб-инструмент для визуализации, мониторинга и анализа данных, связанных со временем в режиме реального времени [7].
- Graphite - это система агрегации данных и отображения графиков в режиме реального времени [8]. Состоит из трех компонентов:
  - graphite - веб-интерфейс для визуализации данных.
  - whisper - база данных оптимизированная для обработки данных временных рядов.
  - carbon - сервис, который получает данные из внешних источников и сохраняет их в базу данных whisper.

- Gson - библиотека для сериализации и десериализации Java-объектов в формат JSON [18].
- Apache HttpClient - библиотека для доступа к интернет-ресурсам через протокол HTTP/HTTPS [1].
- Java - сильно типизированный объектно-ориентированный язык программирования [12].

## 4. Реализация

### 4.1. Модуль сбора данных

Данный модуль используется для получения текущего курса валют с криптовалютных бирж и представляет собой многопоточное приложение, написанное на языке Java. Диаграмма последовательности получения курсов и сохранения полученных данных представлена на рис. 4

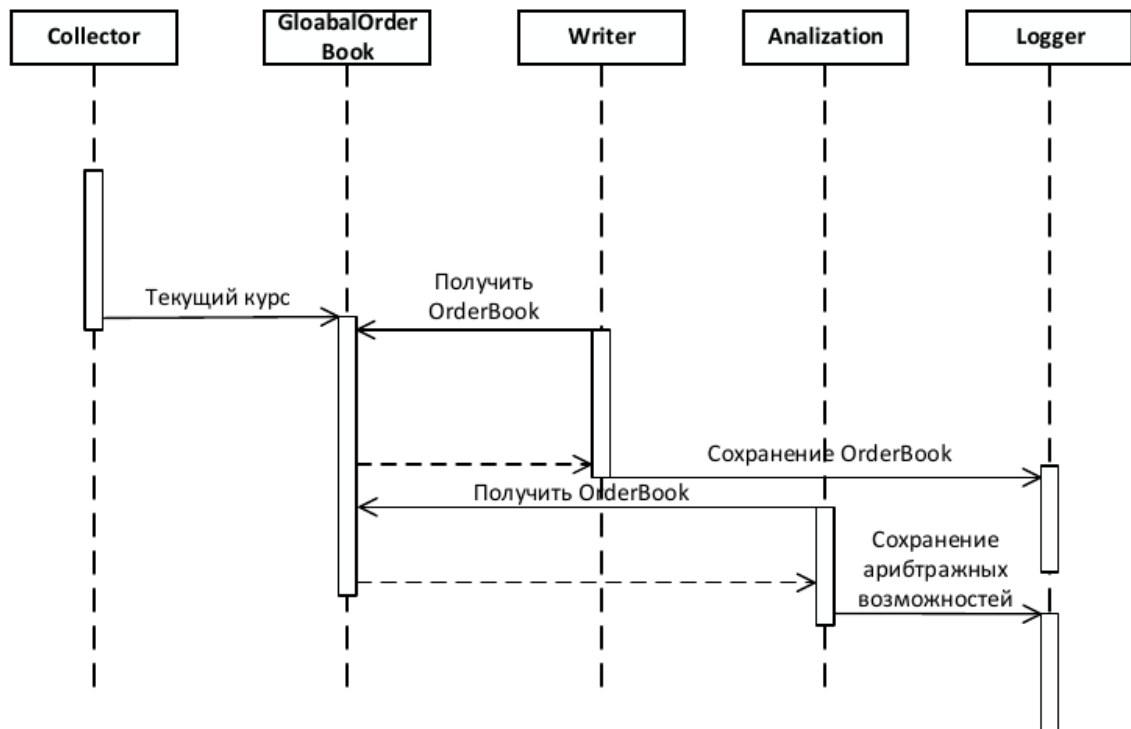


Рис. 4: Диаграмма последовательности

GlobalOrderBook представляет собой глобальное хранилище, где сохраняются последние данные полученные от бирж.

Компонент Collector получает данные от биржи, используя протокол HTTPS и передает данные в GlobalOrderBook. При этом в приложении для каждой биржи существует свой Collector, который работает в отдельном потоке для большей отказоустойчивости и эффективности работы системы. Также модуль поддерживает получение данных с помощью протокола WebSocket.

Logger используется для сохранения на диск данных биржевого стакана и арбитражных возможностей в формате csv.

Writer раз в некоторое время запрашивает данные у GlobalOrderBook для преобразования и передачи Logger для записи на диск.

Analyzation получает данные от GlobalOrderBook для вычисления арбитражных возможностей и передачи их модулю Logger для записи на диск.

## 4.2. Визуализация

Так как одна из поставленных задач требует возможности визуализации в режиме реального времени, то было принято решение интегрировать модуль сбора данных с существующим программным продуктом для визуализации. При этом для инструмента визуализации были выдвинуты следующие требования:

- Поддержка работы в режиме реального времени
- Простота протокола обмена данными
- Простота развертки
- Поддержка базы данных, оптимизированной для хранения временных рядов.

В ходе подбора продукта для визуализации были рассмотрены следующие решения:

- InfluxDB – это база данных для хранения временных рядов [11].
- Graphite – это система агрегации данных и отображения графиков в режиме реального времени [8].
- Prometheus – система для визуализации, мониторинга и хранения данных связанных со временем [17].

- Grafana – веб-инструмент для визуализации, мониторинга и анализа данных, связанных со временем в режиме реального времени [7].

На начальном этапе развития программного продукта из-за небольшого количества поддерживаемых бирж, производительность базы данных была не самым важным фактором. Важнее было оставить возможность перехода на более мощную базу данных без изменения протокола общения между модулем сбора информации и базой данных. Graphite как раз предоставляет возможность замены whisper на другую технологию. Grafana же не имеет своего бэкенда, но при этом достаточно просто интегрируется с Graphite. Что позволяет расширить возможности по визуализации Graphite.

Таким образом, была выбрана связка Graphite и Grafana, которая используется для визуализации стоимости финансовых инструментов, а также для визуализации арбитражных возможностей – разницы стоимости продажи на одной бирже и покупке на другой.

Пример полученного графика стоимости инструмента EOSBTC для разных бирж рис. 5.

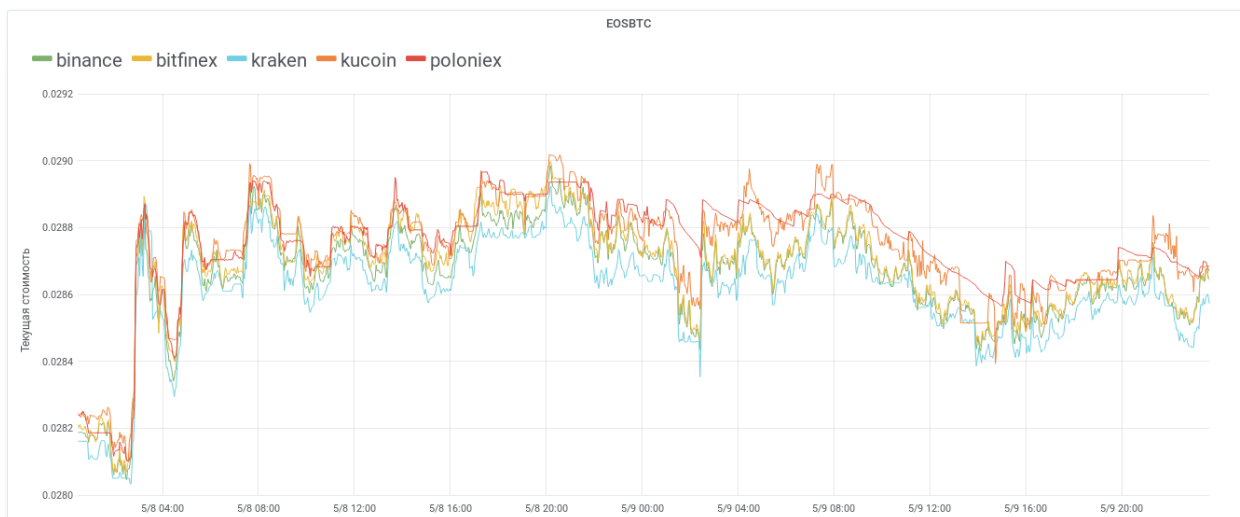


Рис. 5: График курса для инструмента EOSBTC для нескольких бирж

Пример графика арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC рис. 6. Линии графиков, расположенных выше 0 по оси X, показывают



арбитражные возможности при покупке на бирже CEX и продаже на остальных биржах.

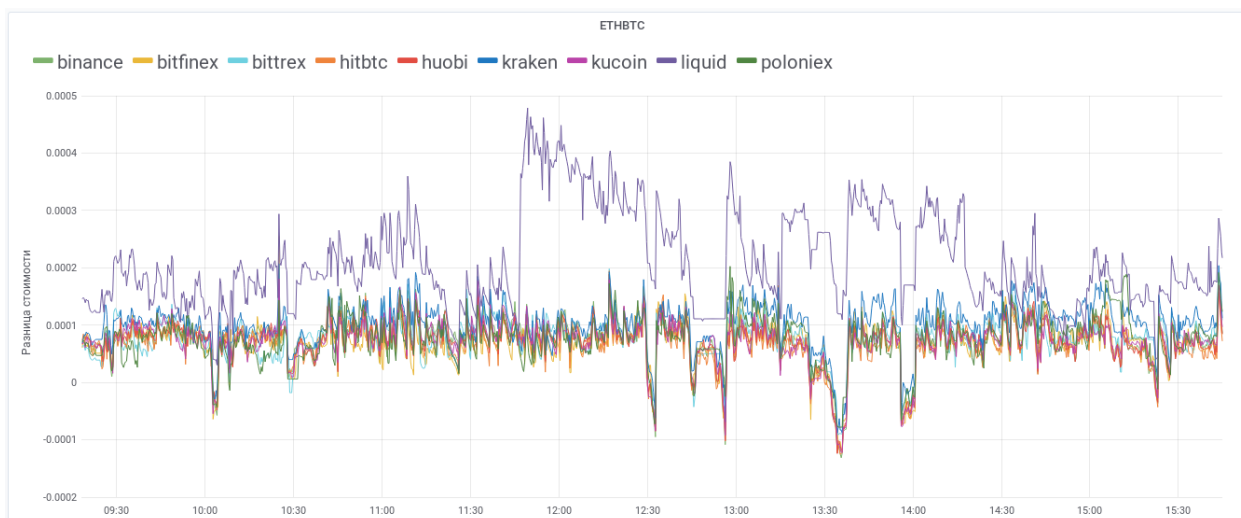


Рис. 6: График арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC

## 5. Апробация

Для апробации система была запущена на удаленном сервере. В ходе апробации была собрана следующая информация об арбитражных возможностях.

Объем арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC рис. 7.

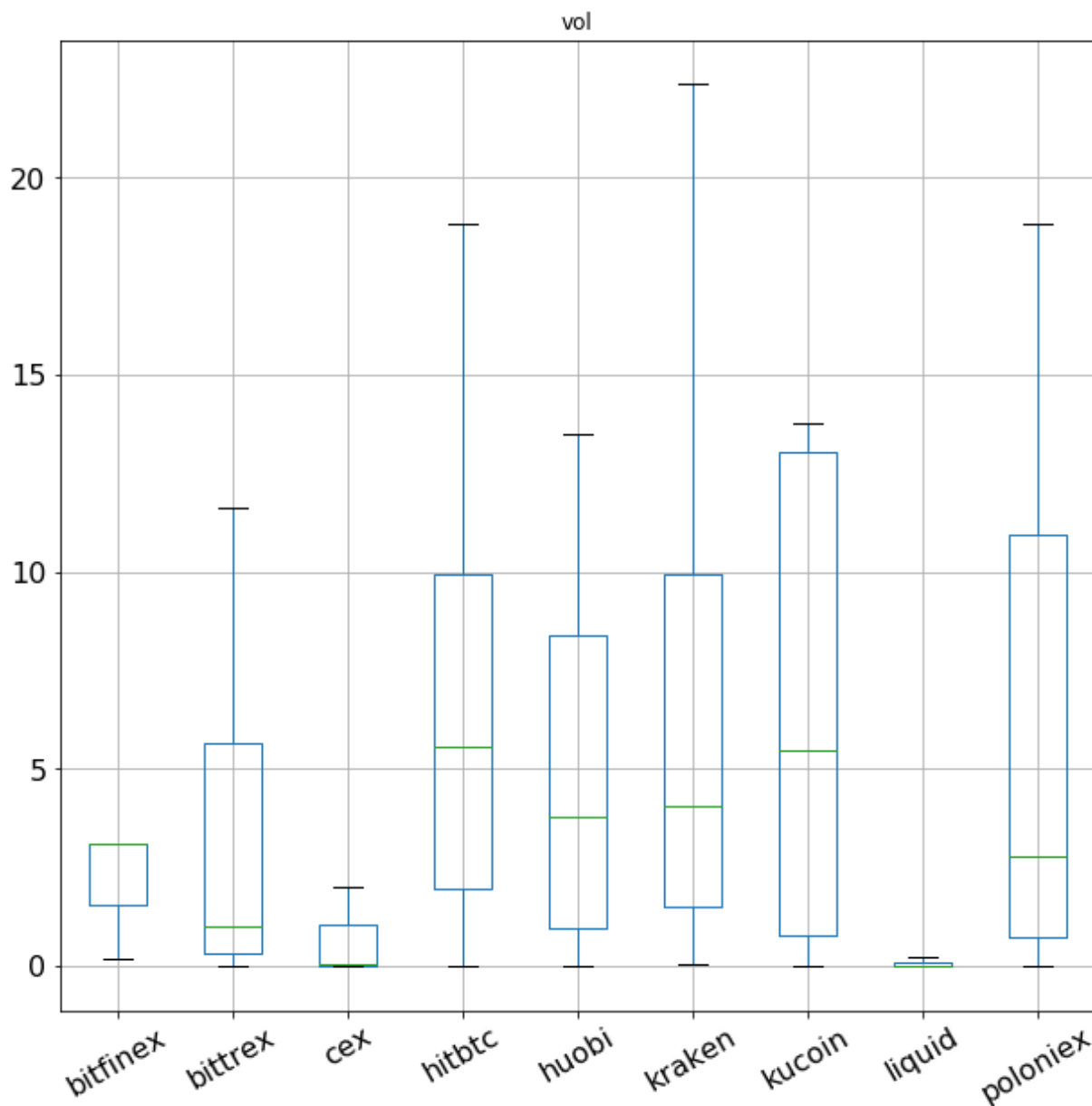


Рис. 7: График разброса

Объем арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC рис. 8.

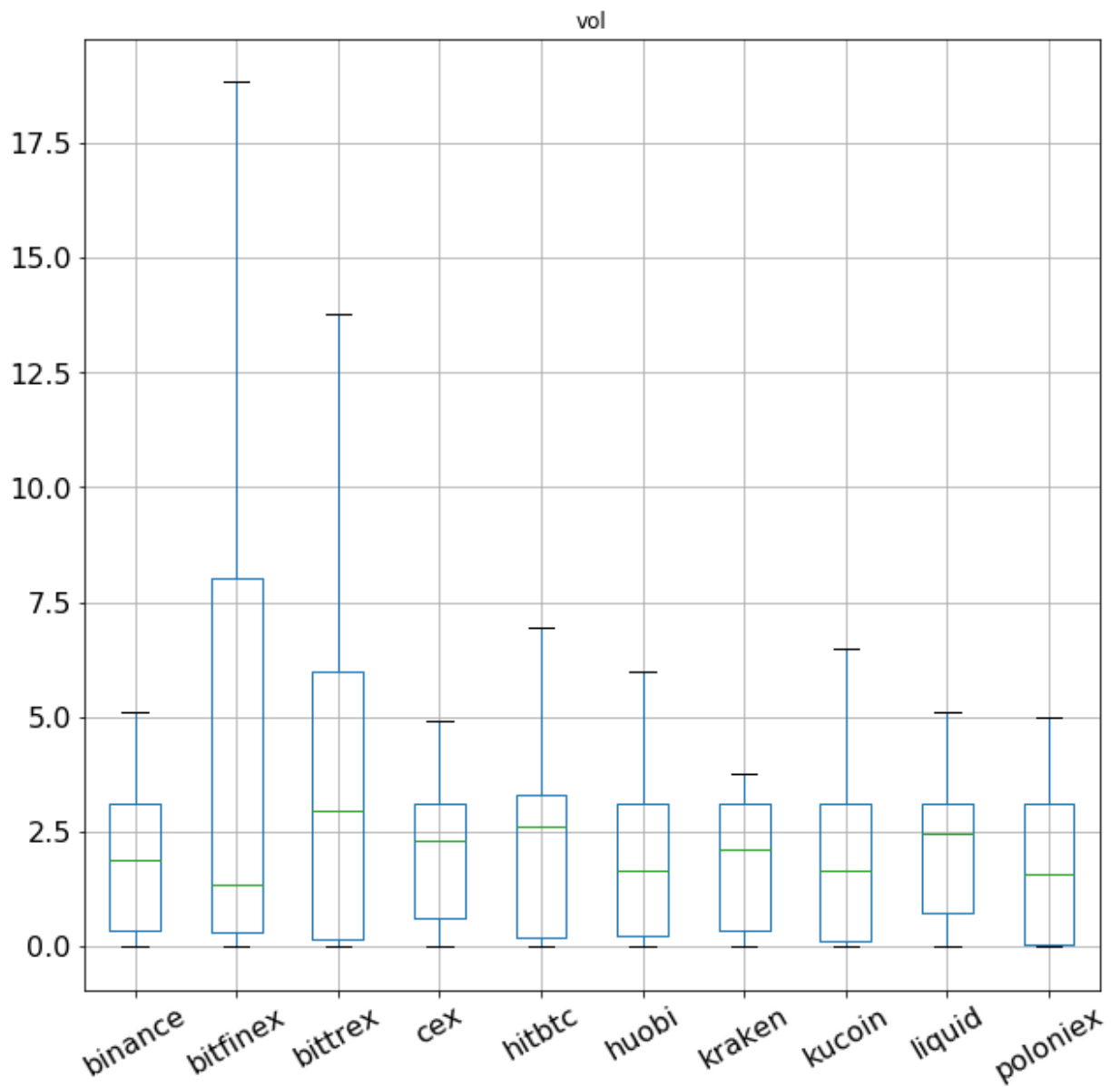


Рис. 8: График разброса

Объем арбитражных возможностей для инструмента XLMBTC рис. 9.

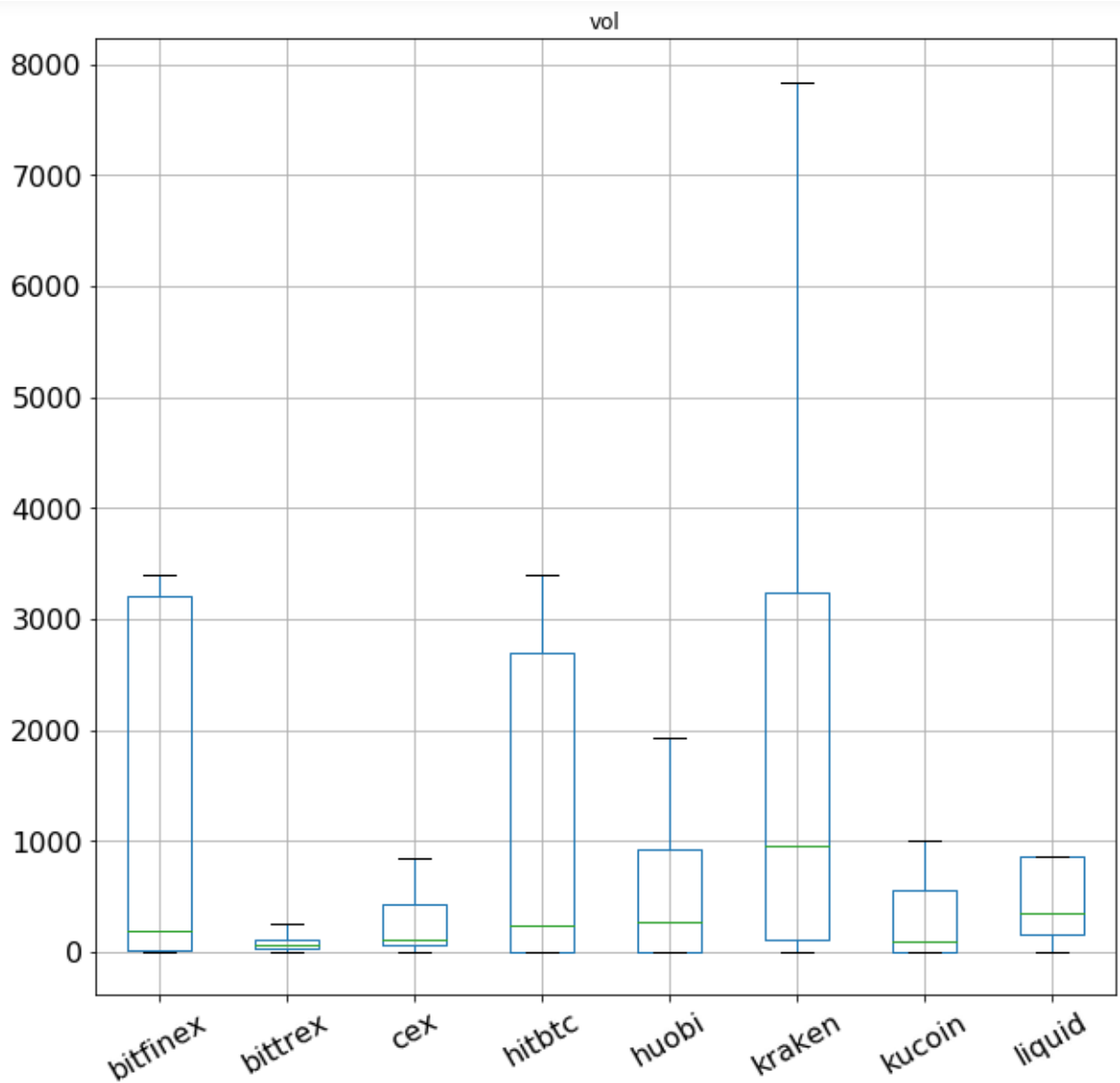


Рис. 9: График разброса

Объем арбитражных возможностей для инструмента XLMBTC рис. 10.

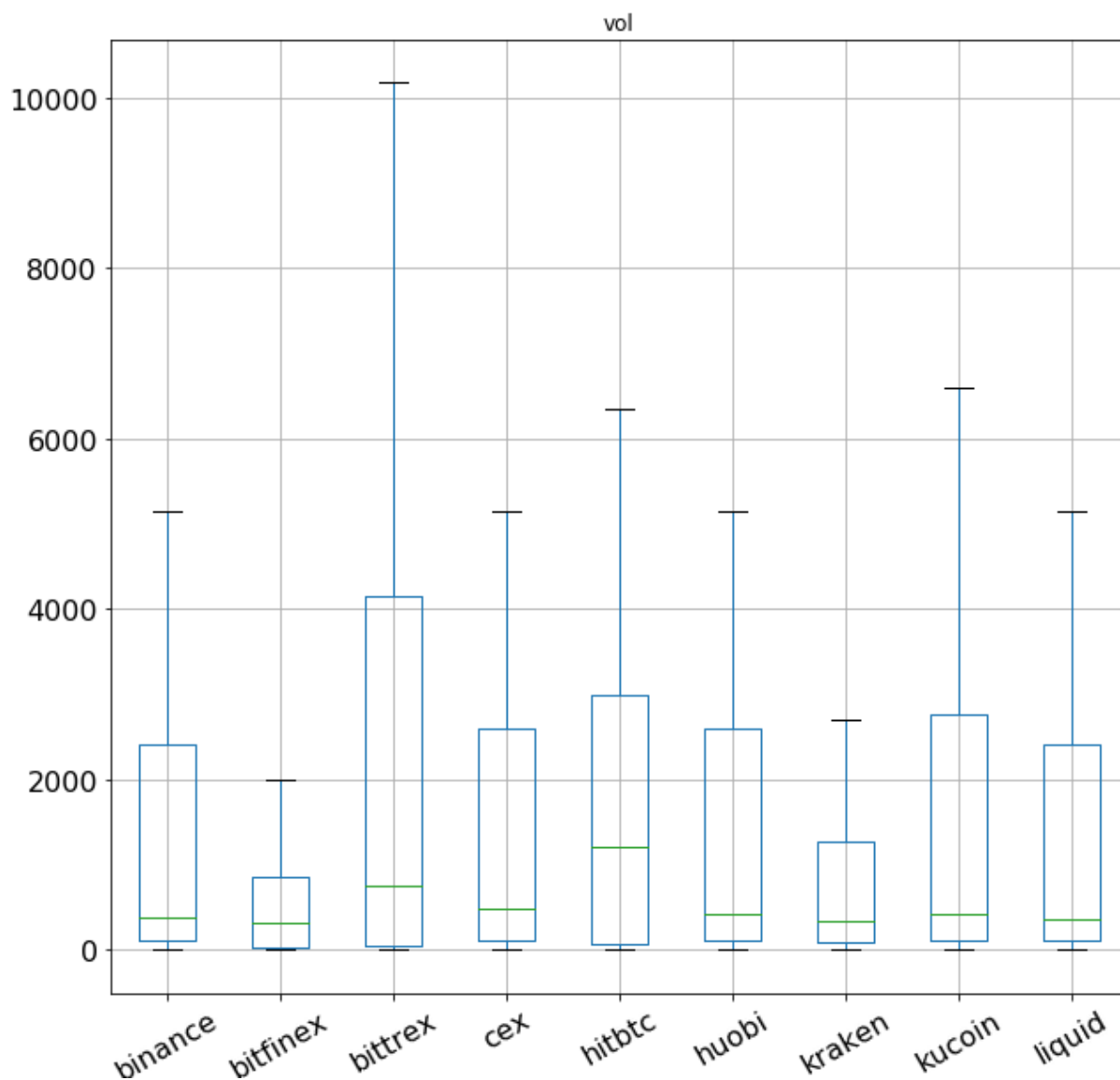


Рис. 10: График разброса

Из графиков 7 и 8 следует что для арбитража на инструменте ETHBTC покупать криптовалюту стоит на биржах Hitbtc, Huobi, Kraken, Kucoin, а продавать на Bittrex, Bitfinex, Liquid, а из графиков 9 и 10 следует что для арбитража на инструменте XLMBTC покупать криптовалюту стоит на биржах Bitfinex, Hitbtc, Kraken, а продавать на Bittrex, Kucoin.

Полученная по результатам собранных за 14 дней данных статистика показана в таблице 2. Медианная прибыль посчитана с учетом комиссии 0.3%.

инструмент	медианный объем \$	объем всего \$	медианная прибыль %
ETHBTC	756	1049487	0.051
BCHBTC	407	1169174	0.058
XLMBTC	26	569499	0.049
XL METH	1	11279	0.073
XR PBTC	210	2201307	0.071
XR PETH	37	26733	0.071
EOSBTC	127	519275	0.071
EOSETH	70	525624	0.826

Таблица 2: Статистика по всем инструментам

## Заключение

В рамках данной работы были получены следующие результаты.

- Произведен обзор предметной области, а так же программ «Межбиржевой арбитражер криптовалют» и «Arbitrage Crypto Trader» межбиржевого арбитража криптовалют.
- Разработана архитектура системы.
- Реализован модуль получения данных и анализа арбитражных возможностей для следующих бирж: Binance, Bitfinex, Bittrex, CEX, Hitbtc, Huobi, Kraken, Kucoin, Liquid, Poloniex; и инструментов: ETHBTC, BCHBTC, XLMBTC, XLMETH, XRPBTC, XRPETH, EOSETH, EOSBTC.
- Проведена апробация программной системы.

## Список литературы

- [1] Apache HttpComponents, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://hc.apache.org> (дата обращения: 20.05.2019).
- [2] Arbitrage Crypto Trader, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.arbitragect.com/en/index.html> (дата обращения: 04.03.2019).
- [3] Binance, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.binance.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [4] Bitfinex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.bitfinex.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [5] Bittrex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://international.bittrex.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [6] Cex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://cex.io> (дата обращения: 20.05.2019).
- [7] Grafana, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://grafana.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [8] Graphite, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://graphiteapp.org> (дата обращения: 20.05.2019).
- [9] Hitbtc, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://hitbtc.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [10] Huobi, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.huobi.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [11] InfluxDB, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.influxdata.com/products/influxdb-overview> (дата обращения: 25.05.2019).



- [12] Java, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://java.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [13] Kraken, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.kraken.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [14] Kucoin, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.kucoin.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [15] Liquid, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.liquid.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [16] Poloniex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://poloniex.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [17] Prometheus, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://prometheus.io> (дата обращения: 25.05.2019).
- [18] gson. [Электронный ресурс]. — URL: <https://github.com/google/gson> (дата обращения: 20.05.2019).
- [19] Межбиржевой арбитражер криптовалют, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://algotrading.center/utility/программа-mezhbirzhevoj-arbitrazh-kriptovalyut.html> (дата обращения: 04.03.2019).
- [20] Страница в сети интернет, посвященная Arbitrage Crypto Trader [Электронный ресурс]. — URL: <https://medium.com/@kickico/the-preico-is-over-long-live-the-ico-868ff06cb0f3> (дата обращения: 04.03.2019).
- [21] Страница в сети интернет, посвященная объему торгов криптовалют [Электронный ресурс]. — URL: <https://ttrcoin.com/znachenie-obema-torgov-kriptovalyut-dlya-ih-likvidnosti>. 104 (дата обращения: 04.03.2019).

- [22] Страница в сети интернет, посвященная рыночной капитализации криптовалют [Электронный ресурс].— URL: <https://coinmarketcap.com> (дата обращения: 04.03.2019).