

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Волков Григорий Валерьевич

Система для моделирования работы  
инструментов технического анализа на  
финансовых рынках

Бакалаврская работа

Научный руководитель:  
д.ф.-м.н., профессор О. Н. Граничин

Рецензент:  
Ведущий инженер программист,  
ООО "Синописис СПб" К. М. Григель

Санкт-Петербург  
2019

SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Software engineering

Grigorii Volkov

System for simulation of technical analysis  
tools application on financial markets

Bachelor's Thesis

Scientific supervisor:  
Dr. Sc. (Phys.-Math.), professor Oleg Granichin

Reviewer:  
Synopsys LLC, Senior Software Engineer Konstantin Grigel

Saint Petersburg  
2019

# Оглавление

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Введение</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1. Введение в предметную область</b>                         | <b>6</b>  |
| 1.1. Финансовый рынок . . . . .                                 | 6         |
| 1.2. Исторические данные . . . . .                              | 6         |
| 1.3. Инструменты технического анализа . . . . .                 | 7         |
| 1.3.1. Простое скользящее среднее . . . . .                     | 8         |
| 1.3.2. Экспоненциальное скользящее среднее . . . . .            | 8         |
| 1.3.3. Средний истинный диапазон . . . . .                      | 9         |
| 1.3.4. Линии Боллинджера . . . . .                              | 10        |
| 1.3.5. SPS . . . . .  | 11        |
| 1.4. Стратегия . . . . .  | 12        |
| 1.4.1. Пересечение скользящих средних . . . . .                 | 12        |
| 1.4.2. Пересечение линий Боллинджера . . . . .                  | 13        |
| 1.4.3. SPS . . . . .  | 15        |
| 1.5. Моделирование торгов . . . . .                             | 16        |
| 1.6. Метрики . . . . .  | 16        |
| <b>2. Постановка задачи</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>3. Требования к прототипу системы</b>                        | <b>19</b> |
| 3.1. Симуляция торговли . . . . .                               | 19        |
| 3.2. Исторические данные . . . . .                              | 19        |
| 3.3. Возможность добавление новых стратегий . . . . .           | 19        |
| 3.4. Учёт дополнительных параметров финансового рынка . . . . . | 20        |
| 3.5. Оценка стратегий . . . . .                                 | 20        |
| <b>4. Обзор существующих решений</b>                            | <b>21</b> |
| 4.1. AlgoTerminal . . . . .                                     | 21        |
| 4.2. PyAlgoTrade . . . . .                                      | 21        |
| <b>5. Архитектура</b>   | <b>23</b> |
| 5.1. Поставщик данных . . . . .                                 | 23        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2. Индикатор и стратегия . . . . .          | 24        |
| 5.3. Аккаунт . . . . .                        | 25        |
| 5.4. Состояние рынка . . . . .                | 26        |
| <b>6. Эксперименты</b>                        | <b>27</b> |
| 6.1. Метод проведения экспериментов . . . . . | 27        |
| 6.2. Сравнительный анализ . . . . .           | 28        |
| <b>Заключение</b>                             | <b>29</b> |
| <b>Список литературы</b>                      | <b>30</b> |

# Введение

Финансовый рынок — это рынок, на котором производится торговля ценными бумагами и производными инструментами, такими как фьючерсы, опционы. Анализом финансового рынка называют поиск зависимостей между факторами, влияющими на тот или иной актив, и динамикой его стоимости. Впоследствии, на основе этих зависимостей строится предположение о будущей цене.

Анализом рынка занимаются его участники: будь то профессиональный аналитик или же частный инвестор. Для принятия решения о купле-продаже актива, как правило, применяется анализ. Анализ финансового рынка бывает двух типов: технический [3] и фундаментальный [6]. Первый тип представляет из себя формально описанный алгоритм, который использует прошлые значения цен, объемы торгов и другую статистическую информацию. Фундаментальный анализ, в свою очередь, оценивает общее состояние финансово-экономических отраслей, инвестиционную привлекательность отдельных компаний, новостной фон. Так как фундаментальный тип анализа сложно поддать формализации, в работе предпочтение отдаётся техническому.

Технический анализ проводится с помощью инструментов анализа [7]. Под инструментами подразумеваются индикаторы, значения которых используются для прогнозирования. На основе индикаторов создаются стратегии. Задача стратегии заключается в вынесении решения на основе значений индикаторов о покупке или продаже актива. Как правило, стратегии технического анализа проверяются на исторических данных аналитиками или автоматически, путём симуляции торговли.

Существует множество систем [5] [1] [8], производящих симуляцию торговли с использованием исторических данных. Но при попытке протестировать собственный подход пользователи сталкиваются с ограничениями по способу описания стратегий. Недостаток свободы в реализации алгоритмов технического анализа для их автоматизированного тестирования мотивировал автора работы на создание прототипа системы, решающей данную проблему.

# 1. Введение в предметную область

В разделе описываются основные определения, подходы и метрики, которые используются в работе.

## 1.1. Финансовый рынок

Финансовый рынок — это рынок, на котором люди торгуют финансовыми ценными бумагами и производными инструментами (фьючерсами, опционами, и т.п.). В рамках данной работы финансовый рынок рассматривается как источник информации о исторических показаний цен актива и площадка для размещения сделок о купле-продаже определённых активов.

## 1.2. Исторические данные

Под историческими данными понимается следующая информация о финансовом инструменте.

1. Цена открытия (open price) – цена актива, установленная в момент начала торговой сессии.
2. Цена закрытия (close price) – цена последней сделки, зарегистрированная в момент конца торговой сессии.
3. Наивысшая цена (high price) – максимальная цена актива, установленная в ходе торговой сессии.
4. Наименьшая цена (low price) – максимальная цена актива, установленная в ходе торговой сессии.
5. Объём торгов – количество активов, перешедших от одного владельца другому в течение торговой сессии.

Торговая сессия — это временной промежуток, на протяжении которого которого активные участники рынка ведут торги. Например,

торговая сессия Московской фондовой биржи начинается в 10:00 и заканчивается в 18:45. Поэтому, торговая сессия идентифицируется днём работы биржи. Исторические данные принято иллюстрировать с помощью *японских свечей*. Японские свечи позволяют лаконично представить различные типы цен в рамках торговой сессии. Если свеча голубого цвета, то цена закрытия выше цены открытия. В противном случае, свеча серого цвета. На рис.1 показано, как следует интерпретировать японские свечи.

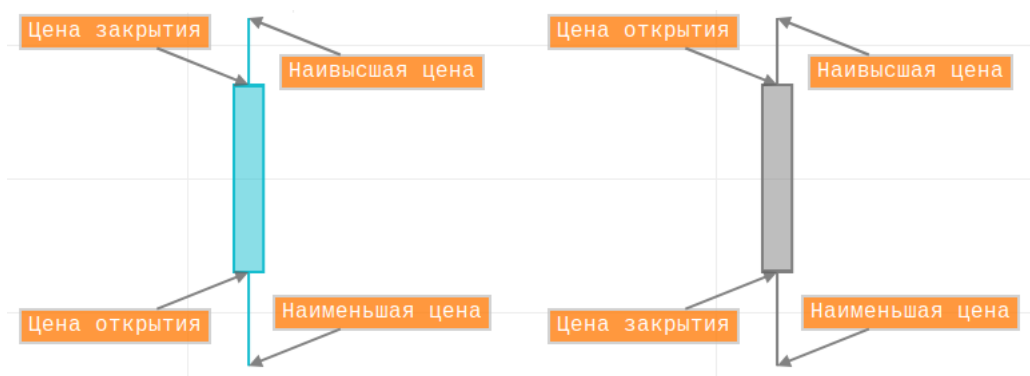


Рис. 1: Японские свечи

### 1.3. Инструменты технического анализа

Под инструментами технического анализа (или техническими индикаторами) подразумеваются алгоритмы, которые на вход получают статистическую информацию рынка (такую, как прошлые значения цен, объёмы торгов и пр.), а на выход дают одно или несколько значений индикаторов. Затем, эти значения используются для формирования каких-либо выводов о ситуации на финансовом рынке относительно актива и принятия решения о купле-продаже.

Ниже приведено описание технических индикаторов, которые будут использованы для апробации.

### 1.3.1. Простое скользящее среднее

Простое скользящее среднее (simple moving average, SMA) — классический индикатор, который рассчитывается по следующей формуле:

$$SMA = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} open_i}{n},$$

где:

$n$  — период простого скользящего среднего,

$open_i$  — цена открытия  $i$  дней назад ( $open_0$  соответствует цене открытия текущего дня),

$SMA$  — значение индикатора.

Скользящее среднее используется для аппроксимации тренда в виду хаотичного движения цены. На рис.2 представлен график скользящего среднего для периода  $n = 14$ .



Рис. 2: Скользящее среднее с периодом 14 дней

### 1.3.2. Экспоненциальное скользящее среднее

Экспоненциальное скользящее среднее (exponential moving average - ЕМА) — индикатор, который является частным случаем взвешенного скользящего среднего. Индикатор придаёт больший вес последним значениям цен, и меньший — более ранним. Значение индикатора рассчитывается рекурсивно по следующей формуле:

$$EMA_{n-1} = open_i \cdot k + EMA_{i-1} \cdot (1 - k),$$



$$EMA_0 = open_0,$$

где:

$n$  – период экспоненциального скользящего среднего,

$open_i$  – цена открытия  $i$  дней назад ( $open_0$  соответствует цене открытия текущего дня),

$k$  – весовой коэффициент, находящийся в интервале от 0 до 1 (как правило берётся равным  $\frac{2}{n+1}$ ),

$EMA_{n-1}$  – значение индикатора.

На рис.3 представлен график экспоненциального скользящего среднего для периода  $n = 14$  и  $k = 0,13$ .



Рис. 3: Экспоненциальное скользящее среднее с периодом 14 дней

### 1.3.3. Средний истинный диапазон

Средний истинный диапазон (average true range, ATR) — индикатор технического анализа, используемый для измерения волатильности рынка. Впервые упомянут Дж. Уэллсом Уайлдером-младшим в его книге «Новые концепции в технических торговых системах». Индикатор рассчитывается по следующей формуле:

$$ATR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(high_i - low_i, |high_i - close_{i+1}|, |low_{i+1} - close_{i+1}|),$$

где:

$n$  – период среднего истинного диапазона,

$open_i$  – цена открытия  $i$  дней назад,

$close_i$  – цена закрытия  $i$  дней назад,  
 $high_i$  – максимальная цена сделки  $i$  дней назад,  
 $low_i$  – минимальная цена сделки  $i$  дней назад,  
 $ATR$  – значение индикатора.

На рис.4 представлен график среднего истинного диапазона для периода  $n = 14$ .



Рис. 4: Средний истинный диапазон с периодом 14 дней

Высокие значения среднего истинного диапазона свидетельствуют о высоких колебаниях цены. В свою очередь, низкие значения являются индикатором постоянности тренда.

### 1.3.4. Линии Боллинджера

Линии Боллинджера [2] (Bollinger Bands) — технический индикатор, представляющий из себя две линии, ограничивающие динамику цены сверху и снизу. Индикатор был разработан техническим аналитиком Джоном Боллинджером. Графически полосы Боллинджера — это три линии. Центральная линия — простое скользящее среднее. Верхняя и нижние линии рассчитываются по формуле:

$$BB_{upper} = SMA_n + k\sigma(close_{1:n}),$$

$$BB_{lower} = SMA_n - k\sigma(close_{1:n}),$$

где:

$n$  — период индикатора,

$SMA_n$  – простое скользящее среднее с периодом  $n$ ,

$\sigma(close_{1:n})$  – среднеквадратичное отклонение цен закрытия за последние  $n$  дней,

$k$  – коэффициент, определяющий количество стандартных отклонений (как правило, коэффициент задают равным двум),

$BB_{upper}$  – значение для верхней линии Боллинджера,

$BB_{lower}$  – значение для нижней линии Боллинджера.

На рис.5 представлены полосы Боллинджера для периода  $n = 14$  дней и  $k = 2$ .



Рис. 5: Линии Боллинджера с периодом 14 дней

Ширина коридора, создаваемого верхней и нижней линиями Боллинджера является индикатором волатильности. Также, линии Боллинджера свидетельствуют о возможной смене тренда при выходе цены за верхнюю или нижнюю линии.

### 1.3.5. SPS

Знако-возмущённые суммы (Sign-Perturbed Sums, SPS) [9], [4] – алгоритм построения доверительных интервалов для неизвестных параметров линейных систем при слабых статистических допущениях. На вход алгоритму подаётся некоторое количество последних значений временного ряда. Алгоритм обладает следующими параметрами:

- $q$  и  $m$  – параметры, задающие доверительную вероятность  $p = 1 - \frac{q}{m}$ ;

- период – количество значений временного ряда, подаваемых на вход.

Данный алгоритм было предложено использовать в качестве инструмента технического анализа и исследовать зависимость тренда от полученного с помощью алгоритма доверительного интервала для коэффициента прямой, описывающей этот тренд.

На рис.6 представлен результат работы SPS. Доверительный интервал цены строится на основе доверительного интервала коэффициента прямой, описывающей тренд.



Рис. 6: Доверительные интервалы, построенные SPS

## 1.4. Стратегия

Под стратегией понимается формально описанное правило, на основе которого принимается решение о покупке актива (открытии позиции) или продаже актива (закрытии позиции). При этом говорят, что стратегия «подаёт сигнал» о покупке или продаже. Ниже описаны стратегии, которые будут использованы при апробации.

### 1.4.1. Пересечение скользящих средних

Пересечение скользящих средних (moving averages crossing) — одна из самых популярных стратегий, используемых на финансовом рынке. Стратегия основывается на гипотезе о том, что пересечение скользящих средних с различным периодом является сигналом о возможной смене

тренда. Если скользящая средняя с меньшим периодом проходит выше скользящей средней с большим периодом, то тренд считается восходящим. В противном случае, тренд считается нисходящим. Формально стратегия описывается следующим образом:

1. Используемые индикаторы:

- Два экспоненциальных скользящих средних с различными периодами:  $period_{fast}$  и  $period_{slow}$  такие, что  $period_{fast} < period_{slow}$ ;
- Средний истинный диапазон с периодом  $period_{atr}$ ;

2. Дополнительные параметры:

- $k$  – коэффициент волатильности

3. Шаги стратегии:

- (a) Вычисление  $ema_{fast}$  и  $ema_{slow}$  – экспоненциальных скользящих средних с периодами  $period_{fast}$  и  $period_{slow}$  соответственно.
- (b) Если значение скользящего среднего с периодом  $period_{fast} > period_{slow}$ , то тренд считается восходящим, в противном случае тренд оценивается как нисходящий.
- (c) Если  $|ema_{fast} - ema_{slow}| \geq k \cdot atr$ , то делается вывод о скорой смене тренда и подаётся сигнал о покупке в случае восходящего тренда и о продаже в случае нисходящего.

На рис.7 представлены графики используемых стратегией индикаторов с указанием сигналов о покупке или продаже.

#### 1.4.2. Пересечение линий Боллинджера

Данная стратегия основана на предположении о том, что выход цены за коридор, создаваемый линиями Боллинджера свидетельствует о возможной смене тренда. Формально стратегия описывается следующим образом:



Рис. 7: Стратегия «Пересечение скользящих средних»

1. Используемые индикаторы:

- Линии Боллинджера с периодом  $period_{bb}$ ;
- Средний истинный диапазон с периодом  $period_{atr}$ ;

2. Дополнительные параметры:

- $k$  – коэффициент волатильности.

3. Шаги стратегии:

- (a) Вычисление  $bb_{upper}$ ,  $bb_{lower}$  – значения верхней, нижней линий Боллинджера соответственно.
- (b) Вычисление  $atr$  – значения среднего истинного диапазона.
- (c) Если цена открытия меньше  $bb_{lower}$  на величину, превышающую значение  $k \cdot atr$ , то подаётся сигнал на покупку.
- (d) Если цена открытия выше  $bb_{upper}$  на величину, превышающую значение  $k \cdot atr$ , то подаётся сигнал на продажу.

На рис.8 представлены графики используемых стратегией индикаторов с указанием сигналов о покупке или продаже.

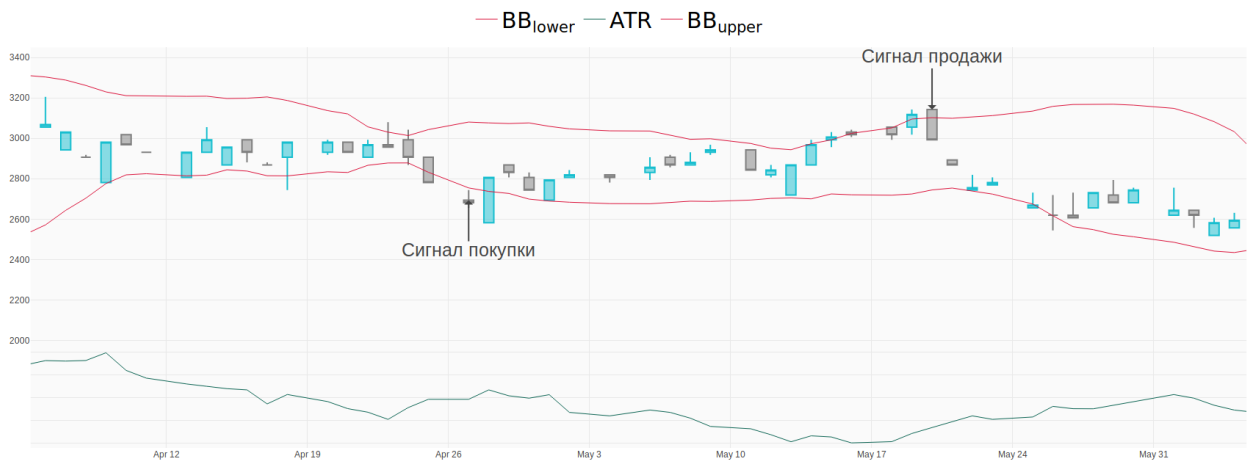


Рис. 8: Стратегия «Пересечение линий Боллинджера»

### 1.4.3. SPS

Было предложено апробировать алгоритм SPS в качестве стратегии в рамках прототипа. Стратегия отталкивается от той гипотезы, что выход цены за границы доверительного интервала свидетельствует о возможной смене тренда. Стратегия имеет следующее описание:

#### 1. Используемые индикаторы:

- SPS с заданной доверительной вероятностью  $p = 1 - \frac{q}{m}$  и периодом  $sps_{period}$ ;
- Средний истинный диапазон с периодом  $period_{atr}$ ;

#### 2. Дополнительные параметры:

- $k$  – коэффициент волатильности.

#### 3. Шаги стратегии:

- (a) Вычисление  $sps_{upper}$ ,  $sps_{lower}$  – верхней и нижней границы доверительного интервала.
- (b) Вычисление  $atr$  – значения среднего истинного диапазона.
- (c) Если цена открытия  $open_i$  меньше  $sps_{lower}$  на величину, превышающую значение  $k \cdot atr$ , то подаётся сигнал на покупку.

- (d) Если цена открытия  $open_i$  больше  $sps_{upper}$  на величину, превышающую значение  $k \cdot atr$ , то подаётся сигнал на продажу.

## 1.5. Моделирование торгов

Имея исторические данные изменения цен какого-либо финансового инструмента и стратегию, возможно моделирование торгов на рынке. На каждой итерации моделирования симулятору подаётся на вход новая единица исторических данных, имитируя этим завершённую торговую сессию. В рамках работы под единицей исторических данных понимается информация о торговом дне биржи.

## 1.6. Метрики

Для определения качества той или иной стратегии используются специальные метрики. В работе используются следующие метрики:

1. Среднегодовая доходность – среднегодовое отношение дохода к начальному депозиту (балансу).
2. Среднегодовая волатильность – отношение среднеквадратичного отклонения ежедневного дохода к квадратному корню временного периода.
3. Максимальная просадка – максимальная разница между двумя значениями баланса, идущими друг за другом, выраженная в процентах.
4. Ожидаемый выигрыш – средняя доходность для одной позиции.
5. Процент выигрышных сделок – отношение позиций, закрытых с положительным доходом, к общему количеству сделок.
6. Коэффициент Шарпа – отношение среднегодовой доходности к среднегодовой волатильности.



7. Количество инвестиций – количество закрытых позиций по итогу симуляции.
8. Среднее время удержания – среднее количество дней удержания актива.

## 2. Постановка задачи

Целью работы является создание прототипа программного комплекса для автоматического тестирования стратегий технического анализа на исторических данных.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Разработать требования к прототипу системы;
- разработать архитектуру прототипа системы;
- реализовать прототип системы;
- описать и реализовать метрики качества работы стратегий;
- реализовать инструменты технического анализа в рамках разработанного прототипа и оценить их эффективность;
- апробировать алгоритм SPS в рамках разработанного прототипа системы и оценить его эффективность.

## **3. Требования к прототипу системы**

Основным требованием к прототипу является модульность, которая позволит расширять и дополнять систему в дальнейшем. Также прототип должен наиболее детально моделировать работу финансового рынка. Для этого необходимо учитывать сторонние факторы (такие, как комиссии за совершение сделки) при построении модели. Ниже перечислены требования к прототипу системы с объяснением причин, по которым они были выдвинуты.

### **3.1. Симуляция торговли**

Ключевая функциональность прототипа системы заключается в возможности симуляции работы финансового рынка. В ходе симуляции должны использоваться исторические данные рынка, которые подаются на вход стратегиям для принятия решения о купле-продаже.

### **3.2. Исторические данные**

Прототип системы должен быть абстрагирован от источника данных. Связано это с тем, что исторические данные могут быть представлены в различных форматах. Это может быть, как CSV файл, так и база данных.

### **3.3. Возможность добавление новых стратегий**

Прототип системы должен быть реализован с возможностью добавления новых стратегий для их последующего тестирования. Причём, необходимо организовать эту возможность наиболее удобным с точки зрения пользователя способом. Языком описания стратегий должен являться Python. Данное требование было выдвинуто с целью лёгкой интеграции ранее написанных на этом языке алгоритмов.

### **3.4. Учёт дополнительных параметров финансового рынка**

Реализованный прототип должен наиболее точно описывать финансовый рынок. Для этого должны учитываться дополнительные параметры рынка, к которым относятся:

- Комиссия за совершение сделки;
- возможность маржинальной<sup>1</sup> торговли.

### **3.5. Оценка стратегий**

Необходимо реализовать метрики, которые будут описывать результат работы стратегии по завершению симуляции торгов. Впоследствии, эти метрики должны использоваться для формальной оценки стратегии.

---

<sup>1</sup>Маржинальная торговля – проведение торговых операций с использованием денег, предоставляемых торговцу в кредит под залог оговоренной суммы – маржи

## 4. Обзор существующих решений

Систем с описанной выше функциональностью большое число. Однако, они однотипны и для анализа были разбиты на две группы. Из каждой группы был выбран и проанализирован популярный представитель.

### 4.1. AlgoTerminal

Фреймворк для алгоритмического трейдинга, охватывающий весь жизненный цикл автоматизированной торговли: разработку стратегии, её тестирование и оптимизацию. Это коммерческий проект с закрытым исходным кодом. При этом, фреймворк AlgoTerminal[1] обладает следующими особенностями:

1. Фреймворк обладает высоким порогом вхождения. Это связано с переусложнённым API для описания стратегий.
2. Возможность использовать только языки платформы .NET.
3. Отсутствует возможность тестирования стратегий на своих данных.

Исходя из вышеперечисленные особенностей, AlgoTerminal не соответствует выдвинутым требованиям. В частности, отсутствует совместимость с различными источниками исторических данных.

### 4.2. PyAlgoTrade

PyAlgoTrade — фреймворк для языка Python, использующийся для описания индикаторов и стратегий, а также для их тестирования путём симуляции торговли. В качестве входных данных используется CSV<sup>1</sup> файл. Также, по итогу симуляции можно получить значения следующих метрик:

---

<sup>1</sup>CSV (от англ. Comma-Separated Values — значения, разделённые запятыми) — текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных.

1. Коэффициент Шарпа.
2. Среднегодовая доходность.
3. Максимальная просадка.
4. Количество выигрышных сделок.

PyAlgoTrade также не соответствует выдвинутым требованиям в виду отсутствия возможности использования источников исторических данных, отличных от CSV файла. Вдобавок, фреймворк даёт доступ к сравнительно небольшому количеству метрик.

## 5. Архитектура

На рис.9 представлена диаграмма последовательности, которая высокоуровнево описывает процессы, происходящие при работе прототипа.

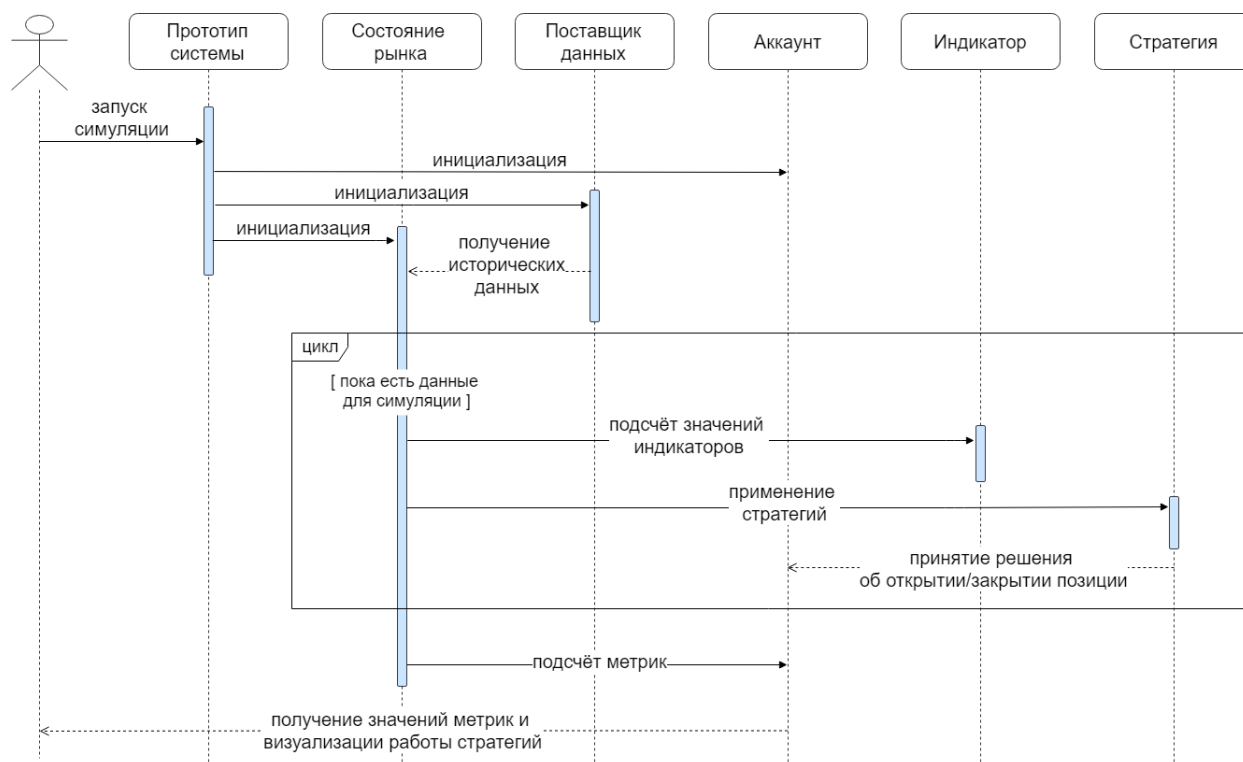


Рис. 9: Диаграмма последовательности

Ниже описаны основные составляющие прототипа системы.

### 5.1. Поставщик данных

Для предоставления исторических данных может использоваться любой класс, унаследованный от поставщика данных (DataProvider). На рис.10 представлена диаграмма класса и его классы-наследники:

1. SQLiteProvider – поставщик данных, использующий SQLite базу данных;
2. CSVProvider – поставщик данных, использующий CSV файл.

Задача поставщика данных — предоставить исторические значения цен в виде экземпляра класса `Instrument`, который является абстракцией финансового инструмента.

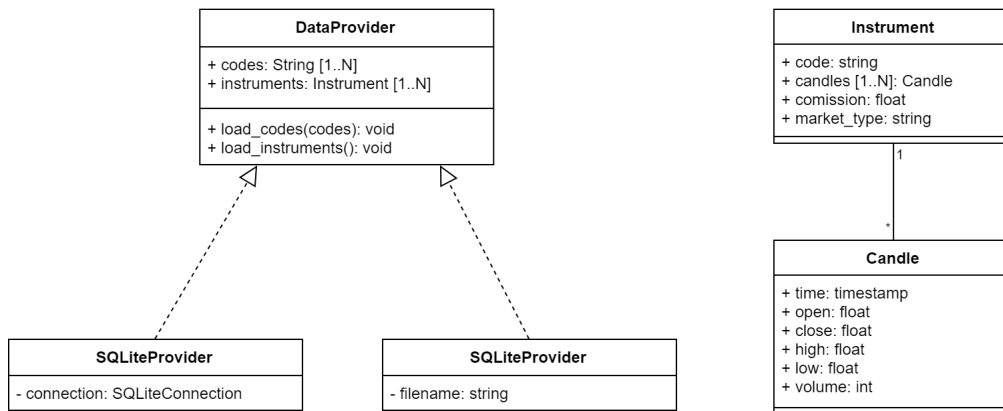


Рис. 10: Диаграмма классов, связанных с поставщиком данных

## 5.2. Индикатор и стратегия

Индикатор (`Indicator`) и стратегия (`Strategy`) реализованы в виде абстрактных классов. Для использования собственных индикаторов и стратегий необходимо реализовать их, унаследовавшись от данных классов. Результатом работы индикатора является его численное значение. В свою очередь, результатом стратегии является один из следующих сигналов, выраженных числом:

- сигнал о покупке: 1;
- сигнал о продаже: -1;
- сигнал о бездействии: 0.

Прототип реализован с возможностью использования нескольких стратегий одновременно. Экземпляр класса Портфолио (`Portfolio`) агрегирует в себе стратегии и принимает на их основе решение об открытии или закрытии позиции согласно следующему правилу:

- если сумма всех сигналов больше 0, то принимается решение об открытии позиции;



- если сумма всех сигналов меньше 0, то принимается решение о закрытии позиции;
- если сумма всех сигналов равна 0, то никакого решения, касающегося открытия или закрытия позиции не принимается.

На рис.11 изображена диаграмма описанных в данном подразделе классов.

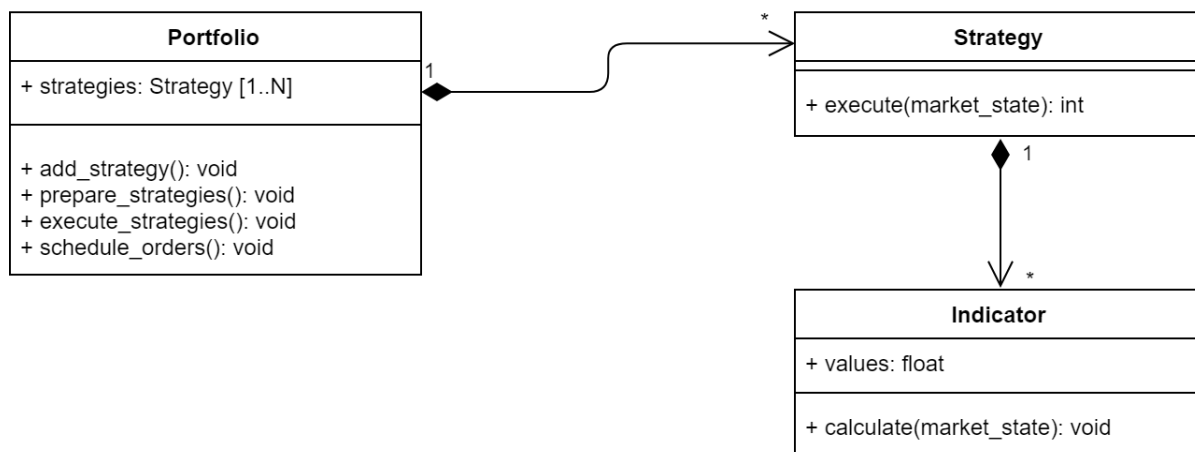


Рис. 11: Диаграмма классов, связанных с индикаторами и стратегиями

### 5.3. Аккаунт

Аккаунт — класс, являющийся абстракцией пользователя. Именно экземпляр этого класса в конечном итоге открывает и закрывает позиции. На рис.12 представлены классы Аккаунта (Account) и Позиции (Position).

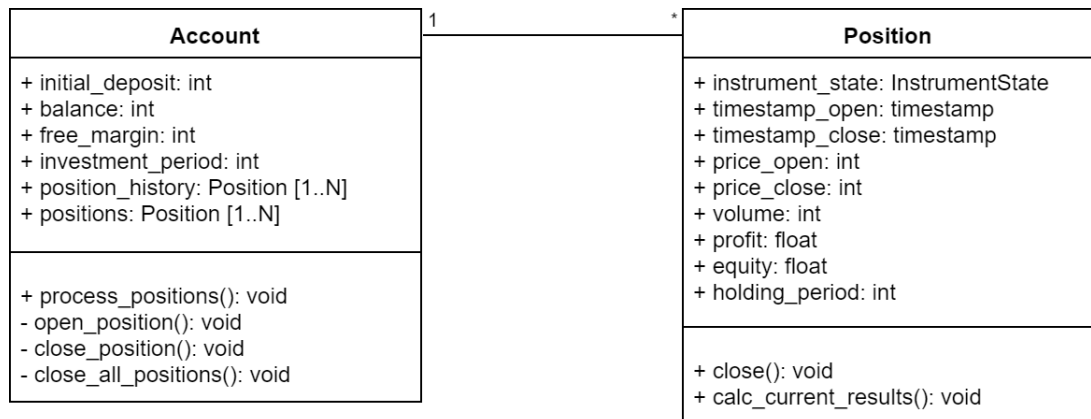


Рис. 12: Диаграмма классов Аккаунта и Позиции

## 5.4. Состояние рынка

Состояние рынка (MarketState) — класс, производящий симуляцию поступающих с финансового рынка данных. На рис.13 изображена диаграмма класса и его связи с вышеизложенными частями прототпа.

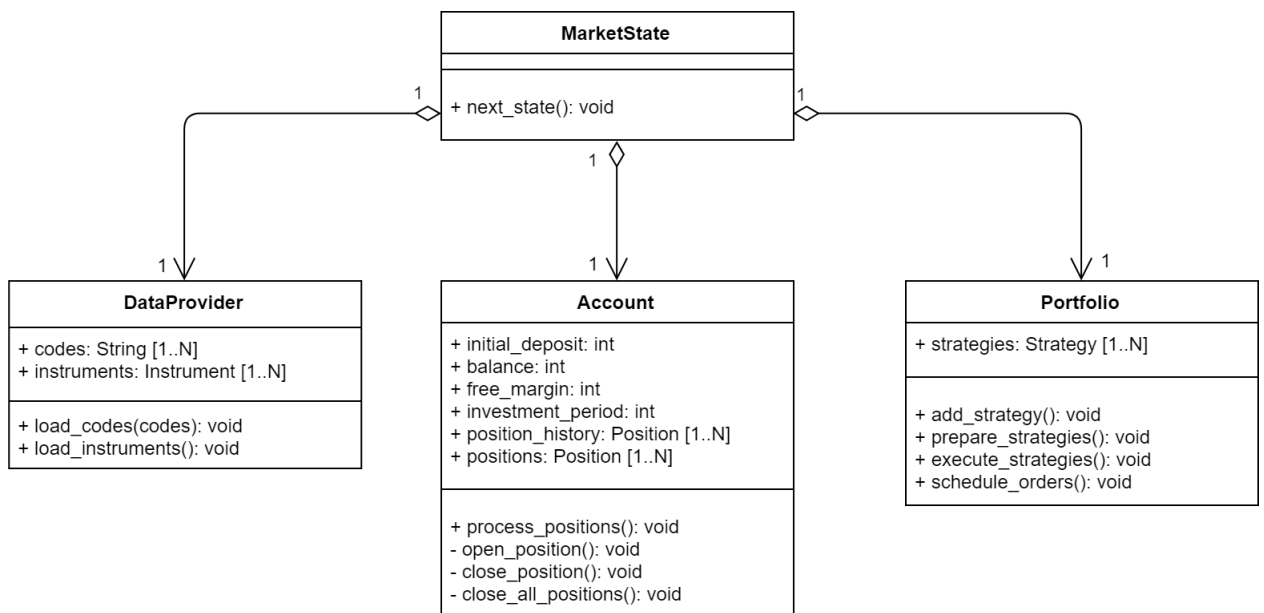


Рис. 13: Диаграмма состояния рынка

## 6. Эксперименты

В разделе приведён сравнительный анализ описанных в главе 1 стратегий, а также описание методики, по которой производились эксперименты.

### 6.1. Метод проведения экспериментов

Набор данных (dataset) для тестирования был предоставлен со стороны потенциального заказчика прототипа в виде SQLite базы данных. На рис.14 представлена структура таблиц базы данных.

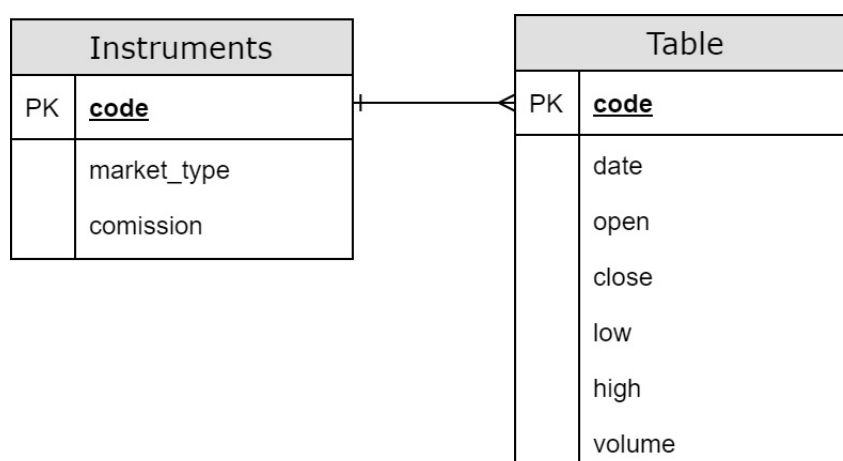


Рис. 14: ER-модель базы исторических данных

Сравнение апробированных стратегий проводилось с помощью метода forward optimization. Forward optimization — метод оценки эффективности стратегии, основанный на оптимизации параметров на одном временном промежутке, а тестировании и получении метрик — на другом.

Для проведения экспериментов были взяты десять финансовых инструментов, включенных в набор данных и исторические данные за шесть лет. Затем, для каждых двух подряд идущих годов из полученных исторических данных была проведена симуляция следующим образом:

- на первом годе производится оптимизация параметров;

- на втором году производится симуляция и получение метрик.

## 6.2. Сравнительный анализ

В Таблице 1 представлены усреднённые результаты метрик, полученные в результате описанных выше экспериментов.

| Метрика                        | Пересечение скользящих средних | Пересечение линий Боллинджера | SPS  |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| Доходность (%)                 | 7,6                            | 32,8                          | 32,7 |
| Волатильность (%)              | 9,0                            | 9,6                           | 10,6 |
| Максимальная просадка (%)      | 16,0                           | 12,9                          | 13,9 |
| Ожидаемый выигрыш (%)          | 1,5                            | 6,3                           | 14,5 |
| Выигрышные сделки (%)          | 43,7                           | 71,5                          | 69,0 |
| Коэффициент Шарпа              | 0,7                            | 5,2                           | 3,2  |
| Количество инвестиций (шт.)    | 2,9                            | 4,8                           | 5,2  |
| Среднее время удержания (сут.) | 26,5                           | 31,6                          | 38   |

Таблица 1: Результаты экспериментов

Исходя из результатов тестирования стратегий, можно сказать, что SPS в качестве технического индикатора сравним с такими классическими инструментами технического анализа, как линии Боллинджера и скользящие средние.

# Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были достигнуты следующие результаты.

1. Были разработаны и проанализированы требования к прототипу системы моделирования работы инструментов технического анализа.
2. Был проведён обзор схожих систем (AlgoTerminal, PyAlgoTrade) и описаны их особенности.
3. Разработана архитектура прототипа системы, позволяющая реализовать прототип согласно выдвинутым требованиям.
4. Реализован прототип системы, реализующий следующую функциональность:
  - Возможность добавления новых индикаторов и стратегий;
  - Возможность тестирования алгоритмов анализа на исторических данных;
  - Получение значений метрик по итогу симуляции;
  - Получение интерактивного графика, иллюстрирующего значения индикатора.
5. Описаны и реализованы метрики для формальной оцениванки работы стратегий.
6. Реализованы и оценены следующие стратегии:
  - Пересечение скользящих средних.
  - Пересечение линий Боллинджера.
7. Был применён в качестве финансовой стратегии алгоритм SPS и проведён его сравнительный анализ.

## Список литературы

- [1] AlgoTerminal LLC. AlgoTerminal algorithmic trading software. — URL: <https://www.algoterminal.com/>.
- [2] Bollinger John. Bollinger Bands<sup>®</sup> // Bollinger Capital Management, Inc. 2019. — URL: <https://www.bollingerbands.com/> (online; accessed: 2019).
- [3] Investing.com // Technical Analysis. — 2018. — URL: <https://www.investing.com/technical/technical-analysis>.
- [4] Marco C. Campi Balázs Cs. Csáji Erik Weyer. Sign-Perturbed Sums: A New System Identification Approach for Constructing Exact Non-Asymptotic Confidence Regions in Linear Regression Models. — 2017. — URL: <https://arxiv.org/pdf/1807.08216.pdf> (online; accessed: 2019).
- [5] NinjaTrader LLC. C# framework for developers to build integrated indicators, drawing tools, automated strategies and more. — URL: <https://ninjatrader.com/>.
- [6] Preston Pysh Stig Brodersen. Warren Buffett Accounting Book: Reading Financial Statements for Value Investing. — Pylon Publishing, 2014. — URL: [https://books.google.ru/books/about/Warren\\_Buffett\\_Accounting\\_Book.html?id=2cfGoAEACAAJ&source=kp\\_book\\_description&redir\\_esc=y](https://books.google.ru/books/about/Warren_Buffett_Accounting_Book.html?id=2cfGoAEACAAJ&source=kp_book_description&redir_esc=y).
- [7] Pring Martin J. Technical Analysis Explained: The Successful Investor's Guide to Spotting Investment Trends and Turning Points. — 1980.
- [8] PyAlgoTrade, a Python Algorithmic Trading Library. — URL: <https://github.com/gbeced/pyalgotrade> (online; accessed: 2019).
- [9] Волкова М.В. Граничин О.Н. Волков Г.А. Петров Ю.В. О возможности применения метода знако-возмущенных сумм для обработки результатов динамических испытаний // Вестник СПбГУ. Сер.

1. Том 63. Вып.1. 2018. С. 30–40. — 2018. — URL: <http://vestnik.spbu.ru/html18/s01/s01v1/04.pdf> (дата обращения: 2019).