

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической кибернетики и компьютерных наук

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ В СФЕРЕ ФОНДОВОГО РЫНКА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 273 группы
направления 01.04.02 — Прикладная математика и информатика
факультета КНиИТ
Шведова Вадима Валерьевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

А. С. Иванов

Заведующий кафедрой

к.ф.-м.н., доцент

С. В. Миронов

Саратов 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Основное содержание работы	5
2 Прогнозирование в теории	8
2.1 Фондовая биржа	8
2.2 Прогнозирование фондовых рынков	8
2.2.1 Методы прогнозирования	8
2.2.2 Технический анализ	8
2.2.3 Использование нейронных сетей для прогнозирования финансовых временных рядов	9
2.3 Нейронные сети	9
2.3.1 Рекуррентные нейронные сети	10
2.3.2 LSTM рекуррентные нейронные сети	10
3 Прогнозирование на практике	11
3.1 Симуляция биржевой торговли	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	13
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	14

ВВЕДЕНИЕ

Нейронные сети — один из самых популярных классов алгоритмов для машинного обучения. В финансовом анализе они чаще всего применяются для прогнозирования, создания собственных индикаторов, алгоритмического трейдинга и моделирования рисков.

Целью магистерской работы является исследование возможности, а также целесообразности применения прогнозов нейронной сети при работе с последовательностью исторических данных, которые описывают движение цен акций различных компаний на долгосрочную перспективу.

Поставленная цель определила большое количество следующих задач:

- проанализировать теоретические основы торговли акциями;
- исследование применение нейронных сетей в решения задач прогнозирования временных рядов;
- изучение основных методов для составления моделей и обучения нейронной сети;
- подобрать источник данных;
- выбрать архитектуру нейронной сети для работы с последовательностью исторических данных;
- преобразовать исторические данные стоимости акций в удобную для обучения форму;
- разбить данные на выборки для тренировки нейронной сети и для тестирования;
- подготовить виртуальную среду для работы с языком программирования «python» и библиотеки «tensorflow»;
- разработать модель нейронной сети;
- обучить нейронную сеть на подготовленных исторических данных большого множества компаний;
- произвести прогноз движения стоимости акций на долгосрочную перспективу произвольной компании;
- разработать программу симуляции биржевых торгов с использованием результатов прогнозов нейронной сети на тестовой выборке исторических данных за последние несколько лет;
- добавить в программу симуляции биржевых торгов возможность использования различных стратегий прогнозов для сравнения с прогнозами

нейронной сети;

- провести симуляцию биржевых торгов на акциях большого количества компаний с использованием различных стратегий прогнозирования;
- сравнить результаты симуляции биржевых торгов при использовании различных стратегий прогнозирования;
- сделать вывод об осознанности прогнозов нейронных сетей и об их оправданности в активном применении;
- подготовить отчет с результатами.

1 Основное содержание работы

Магистерская работа посвящена исследованию возможности и целесообразности применения нейронных сетей в сфере биржевой торговли. Работа опирается на теорию технического анализа, что временной ряд описывающий цены акций имеет закономерности и их можно использовать в задаче прогнозирования движения цен на долгосрочную перспективу.

Работа разделена на два раздела.

В первом представлено несколько рыночных теорий и методов прогнозирования. В частности было отдельное внимание техническому анализ и возможностью использования нейронных сетей для прогнозирования финансовых временных рядов. Описаны основы теории нейронных сетей, их построения, использования и обучения. Рассказывается о преимуществах применения рекуррентных нейронных сетей на базе архитектуры LSTM в задачах прогнозирования временных последовательностей.

Во втором разделе уделено внимание обработке источника данных и представлено описание обучения LSTM на практике с использованием языка программирования «python» библиотеки «tensorflow», а так же приведены результаты прогнозов движения стоимости акций компании «Archrock Partners LP». Помимо этого раздел посвящен симуляции биржевой торговли на акциях 110 компаний за последние 3-4 года с использованием прогнозов нейронной сети. Уделено внимание деталям реализации программы. Проведено сравнение результатов торговли с применением нескольких других стратегий прогнозирования. Произведен вывод об осознанности прогнозов нейронных сетей и об их оправданности активного применения в сфере фондовой биржи.

Для понимая концепции и расширения кругозора в данной теме была выбраны книга «Neural Networks in Finance: Gaining Predictive Edge» [1] in the Market Пола МакНелиса. МакНелис использует множество примеров: от прогнозирования развития производства автомобилей и корпоративных облигаций до процессов инфляции и дефляции в Гонконге и Японии до дефолта по кредитным картам в Германии с банкротствами банков в Техасе, волатильности наличных денег в Нью-Йорке и Гонконге.

Во время анализа теории работы фондового рынка были крайне полезны к прочтению и подчеркиванию информации из нестандартная книги «Физика фондового рынка. Краткая история предсказаний непредсказуемого » [2]

Джеймса Уэзеролла, автор рассказывает о том, как они возникли и как понять математические модели, которые стоят во главе современного рынка; а также книга «The Intelligent Investor: The Definitive Book on Value Investing» [3] знаменитого экономиста Бенджамина Грэхема, в книге автор описывает эффективный метод инвестирования, который определяется сравнением цены и реальной стоимости различных акций. Помимо этого, для понимания работы фондовых бирж была использована информация из статьи «Что такое фондовый рынок» [4].

О возможности использования нейронных сетей для прогнозирования временных рядов отлично описано в статье «Прогнозирование финансовых временных рядов» [5], часть данных которой и были позаимствованы при написании работы.

Информация о существующих методах прогнозирования была взята из статьи «Методы прогнозирования финансовых временных рядов. Классификация» [6], а подробности метода технического анализа хорошо описаны в электронном источнике «Постулаты технического анализа» [7], в электронной большой российской энциклопедии в разделе технического анализа [8], в статье о технический анализе интернет веб-сайта «r-invest.fund» [9], а также многим известной, в определенных кругах, книге Майкла Кана «Технический анализ. Просто и ясно» [10].

При изучении построения, использования и обучении нейронных сетей были использованы следующие статьи из электронных источников:

- «Mind: How to Build a Neural Network.» [11]
- «A Step by Step Backpropagation Example.» [12]
- «Нейронные сети для начинающих.» Часть 1 [13] Часть 2 [14]
- «10 misconceptions about Neural Networks» [15]
- «Time Series Forecasting with RNNs» [16]
- «Understanding LSTM Networks» [17]
- «Long Short Term Memory Networks: Demystified» [18]
- «Long Short Term Memory Networks: Implementing with Tensorflow» [19]
- «LSTM — сети долгой краткосрочной памяти» [20]
- «A Beginner's Guide to LSTMs and Recurrent Neural Networks» [21]

При составлении модели рекуррентной нейронной сети с использованием библиотеки «tensorflow» была почерпнута полезная информация из статей

«LSTM by Example using Tensorflow» [22] и «How to do time series prediction using RNNs, TensorFlow and Cloud ML Engine» [23], а т

Для работы со стороны практической составляющей был выбран один из самых популярных инструментов для машинного обучения библиотека «tensorflow». При изучении возможностей «tensorflow» — основным источником информации стала его официальная документация [24], а также статья «How to invoke a trained TensorFlow model from Java programs» [25] в которой изложены практические примеры использования API TensorFlow в языках программирования Java и Python.

Для получения данных о временных рядах в работе используется сервис «Alpha Vantage API» [26], содержащую всю необходимую информацию о движении цен акций множества компаний.

Также были рассмотрены статьи «Stock Market Predictions» [27] и «Прогнозирование финансовых временных рядов с MLP в Keras» [28], в которых тоже описывались попытки прогнозировать движение цен акций, статьи помогли предотвратить несколько ошибок и направить в нужное русло.

В заключении представлены основные выводы над проделанной работой. Список использованных источников состоит из двадцати восьми пунктов. В работе присутствуют ссылки на все приведенные источники. В приложении приводится листинг разработанных студентом программ, а также описание компакт-диска, содержащий используемые в исследовании исторические данные и множество графиков, описывающих результаты прогнозов нейронной сети для каждой компания. Код хорошо читается и снабжен комментариями.

2 Прогнозирование в теории

2.1 Фондовая биржа

Фондовый рынок — это сегмент капитализации, который позволяет торговать акциями на бирже и в внебиржевом формате. Вместе с финансово-кредитным рынком этот впечатляющий сектор капитала формирует мировую экономику.

Международный фондовый рынок чутко реагирует на все явления в экономической и политической жизни развитых стран. Чем больше трейдер имеет в своём распоряжении информации, тем выше вероятность заключения прибыльной сделки с ценными бумагами. При этом используемые для анализа сведения могут находиться в открытом доступе

2.2 Прогнозирование фондовых рынков

Предполагая, что временной ряд, описывающий цены, полон скрытых закономерностей, большинство участников рынка все же использует различные методы для прогнозирования.

2.2.1 Методы прогнозирования

Основной целью прогнозирования является определение причинно-следственной связи факторов, влияющих на развитие и движение рынка, то есть выделение тех факторов, которые в большей степени влияют на динамику ценового ряда. В настоящее время большое количество участников рынка используют различные методы прогнозирования финансовых временных рядов:

- экспертные методы прогнозирования;
- методы логического моделирования;
- экономико-математические методы;
- статистические методы;
- фундаментальный анализ;
- технический анализ.

2.2.2 Технический анализ

Технический анализ в экономике — метод прогнозирования цен, с помощью финансовых инструментов, на основе их изменения в прошлом. Теоретически технический анализ применим на любом рынке. Но на высоколиквидных

свободных рынках, таких как биржи, технический анализ является наиболее распространенным.

В техническом анализе существует множество инструментов и методов, но все они основаны на одном допущении: динамика движения цены определяется психологией поведения участников рынка, которые в сходных обстоятельствах ведут себя одинаково, под влиянием человеческих факторов, что и позволяет прогнозировать поведение цен, обусловленное действиями участников рынка.

Технический анализ является популярным инструментом, поэтому значительное количество участников рынка доверяют его результатам и так или иначе учитывают их в своей деятельности. Следовательно, вполне может существовать причинно-следственная связь между текущим поведением графиков и дальнейшими движениями рынка. Также возможно, что крупные игроки, знающие популярность технического анализа среди других игроков, могут намеренно создавать условия, побуждающие их вести себя в определенным образом. Например, сегодня на рынке формируется треугольник по причинам, многие из которых ранее сформировали треугольники; и теперь прорыв цен может привести к тем же результатам, что и раньше.

2.2.3 Использование нейронных сетей для прогнозирования финансовых временных рядов

Нейронные сети пытаются выявить такие же закономерности во временном ряде, обучаясь на его исторических данных, поэтому их можно отнести к методам технического анализа.

2.3 Нейронные сети

Нейронная сеть моделирует работу нервной системы человека, особенностью которой является способность к самообучению на основе предыдущего опыта. Таким образом, каждый раз система совершает меньше ошибок.

Нейронные сети состоят из слоев взаимосвязанных узлов, отдельные узлы которого называются персептронами. С первого взгляда персептроны напоминают множественную линейную регрессию, но персептроны упаковывают сигнал, генерируемый множественной линейной регрессией, в функцию активации, которая может быть как линейной, так и нелинейной. В системе с несколькими слоями персептронов, персептроны организованы в слои,

которые, в свою очередь, связаны друг с другом. Говоря о слоях, существуют входные, выходные и скрытые слои. Первый уровень принимает шаблоны входных данных, второй может поддерживать классификационный список или выходные сигналы в соответствии со схемой. Скрытые слои контролируют вес входных данных, пока риск ошибок не будет минимизирован.

2.3.1 Рекуррентные нейронные сети

Каждое слово человека основано на понимании предыдущих слов. Человек никогда все не выбрасывает и начинает думать с нуля.

Традиционные нейронные сети не могут повторить такое поведение, и это кажется серьезным недостатком. Решить эту проблемы помогают рекуррентные нейронные сети. Эти сети тесно связаны с последовательностями и списками. Это естественная архитектура нейронной сети, используемая для таких данных. За последние несколько лет был достигнут невероятный успех в применении RNN для решения разнообразных задач.

Но главным толчком успехов сетей данного типа является использование «LSTM», особого вида рекуррентной нейронной сети, которая для многих задач работает намного лучше, чем стандартная версия. Почти все невероятные результаты рекуррентных нейронных сетей достигаются с их помощью.

2.3.2 LSTM рекуррентные нейронные сети

LSTM — это особый вид рекуррентных нейронных сетей, способный обрабатывать долгосрочные зависимости. Они были разработаны, чтобы избежать проблемы долгосрочной зависимости. Запоминание информации в течение длительных периодов времени является практически их поведением по умолчанию, а не что-то, чему они с трудом пытаются обучиться.

Все рекуррентные нейронные сети имеют форму цепочки повторяющихся модулей нейронной сети. В стандартных рекуррентных нейронных сетях этот повторяющийся модуль будет иметь очень простую структуру, такую как один слой с функцией активации $\tanh$. LSTM также имеют эту цепочечную структуру, но повторяющийся модуль имеет другую структуру. Вместо одного слоя нейронной сети существует четыре, взаимодействующих совершенно особым образом.

TensorFlow предоставляет хороший RNN API для реализации моделей временных рядов. Что довольно неплохо подходит в практической реализации.

3 Прогнозирование на практике

Нейронные сети пытаются выявить закономерности в развитии ряда, обучаясь на его исторических данных, но финансовый временной ряд довольно сильно зашумлен и поэтому надо уделить тщательное внимание предварительной обработке данных.

Когда данные подготовлены, то можно приступить к конфигурации модели рекуррентной нейронной сети на базе архитектуры LSTM с помощью библиотеки «tensorflow», объявив количество слоев, функцию потерь и оптимизатор. После этого можно запускать обучение на тренировочных данных, предварительно разбив их на батчи.

В результате, когда нейронная сеть обучилась и провела прогнозы на тестовой выборке, то с этого момента можно вывести график с прогнозами того как сеть реагировала на тестовые данные, полученные прогнозы можно сверить с актуальными ценами акций, а также посмотреть прогноз на будущее.

3.1 Симуляция биржевой торговли

Обученная ранее LSTM рекуррентная нейронная сеть настроена так, чтобы каждые тридцать дней давать прогноз о движении цен на следующие тридцать дней. При построении графика с прогнозами движения цен акций произвольной компании, можно визуально подтвердить, что по крайней мере нейронная сеть способна давать некоторый прогноз о движении цен по ее историческим данным, но судить об осознанности прогнозов и оправданности применения нейронных сетей по визуальным результатам прогнозирования для одной компании нельзя.

Для более точного анализа проблемы необходимо провести прогнозирования у гораздо большего набора данных о стоимости акций различных компаний, запустить симуляцию биржевой торговли для выявления оправданности использования нейронных сетей на большом количестве данных компаний, а так же на стимуляторе провести сравнение различных стратегий.

Для проведения исследования были случайно отобраны данные о ценах акций 110 компаний. Затем для каждого экземпляра выгруженных данных цен компаний было запущено обучение LSTM модели нейронной сети. По результатам обучения, были экспортированы полученные результирующие данные за последние 3-4 года с прогнозами движений цен для последующей работы с

симуляцией биржевой торговли.

Для проверки результатов прогнозов LSTM рекуррентной нейронной сети о движении цен акций на каждые тридцать дней, была использована следующая базовая стратегия о поведении на рынке при различных прогнозах:

- если был прогноз о том, что цена акции будет расти, то необходимо купить акции на сумму не превосходящую определенное процентное соотношение с текущим балансом. После этого в течении тридцати дней ждать повышения цены как минимум на заданный определенный процент, затем продать акции по новой цене и ждать следующего прогноза, иначе сохранить купленные акции до следующего прогноза;
- если был прогноз о том, что цена акции будет падать, то необходимо продать имеющиеся акции. После этого в течении тридцати дней ждать понижение цены как минимум на заданный определенный процент, затем купить акции по новой цене и ждать нового прогноза, иначе просто ждать следующего прогноза.

Итого в рамках проведенного исследования были запущены несколько симуляций со следующими параметрами рисков:

- - выделенный стартовый баланс для каждой компании;
 - ожидание подорожания/удешевления на определенный процент;
 - нагрузка на баланс: не более определенного процента за одну итерацию покупки;
 - ограничение по максимальному количеству акций за одну итерацию покупки.

Было проведено сравнение результатов симуляции биржевых торгов с применением следующих стратегий прогнозирования:

- прогнозы LSTM нейронной сети;
- случайные прогнозы;
- всегда положительные прогнозы;
- обратные прогнозы LSTM нейронной сети;
- прогнозы на основе движения цен за последние 30 дней;
- идеальные прогнозы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нейронные сети — это класс мощных алгоритмов машинного обучения. Они основаны на методах статистического анализа и успешно применяются в финансовых моделях, а также в торговых стратегиях на протяжении многих лет. Несмотря на это, у них плохая репутация из-за многих неудачных попыток использования нейронных сетей на практике. В большинстве случаев неудач в использовании нейронных сетей лежат на общих заблуждений о том, как они работают.

Но проведенное исследование показало, что базируясь на результатах симуляции биржевой торговли, в которых прогнозы нейронных сетей показали себя существенно лучше случайных и примитивных прогнозов, то можно говорить, что использование нейронных сетей в сфере фондового рынка, а именно в биржевой торговле действительно возможно, а главное и уместно.

В рамках данной работы было выполнено множество задач. Проведен анализ теоретических основ фондовой торговли. Произведено исследование и выбор подходящей архитектуры нейронной сети для работы с последовательностью исторических данных, описывающее движение цен акций. Написано ПО с использованием рекуррентных нейронных сетей на базе архитектуры LSTM для прогноза движения стоимости акций одной из существующих компаний на произвольный промежуток времени вперед и подготовлен отчет с результатами применения прогнозов. Разработано ПО симуляции биржевой торговли с использованием прогнозов нейронной сети, а также с поддержкой сравнения различных стратегий прогнозов. Проведено сравнение использования прогнозов нейронной сети с тремя другими стратегиями прогнозирования. Произведен вывод об осознанности прогнозов нейронных сетей и об их целесообразности в активном применении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 *McNelis, P. D.* Neural Networks in Finance: Gaining Predictive Edge in the Market / P. D. McNelis. — Academic Press; 1 edition, 2005. — P. 256.
- 2 *Уэзеролл, Д.* Физика фондового рынка. Краткая история предсказаний непредсказуемого / Д. Уэзеролл. — Манн, Иванов и Фербер, 2014. — P. 320.
- 3 *Grahams, B.* The Intelligent Investor: The Definitive Book on Value Investing / B. Grahams. — Collins Business; Revised, Subsequent edition, 2005. — P. 640.
- 4 Что такое фондовый рынок [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.avatrade.ru/cfd-trading/stocks/stock-market> (Дата обращения 19.10.2018). Загл. с экр. Яз. рус.
- 5 Прогнозирование финансовых временных рядов [Электронный ресурс]. — URL: <https://geektimes.ru/post/144405/> (Дата обращения 10.12.2018). Загл. с экр. Яз. рус.
- 6 Методы прогнозирования финансовых временных рядов. Классификация [Электронный ресурс]. — URL: <http://beintrend.ru/2010-08-30-11-39-37> (Дата обращения 10.02.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 7 Постулаты технического анализа [Электронный ресурс]. — URL: http://www.bull-n-bear.ru/technic/?t_analysis=postulates (Дата обращения 10.02.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 8 Большая российская энциклопедия. ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ. [Электронный ресурс]. — URL: <https://bigenc.ru/economics/text/4190812> (Дата обращения 19.02.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 9 Технический анализ. [Электронный ресурс]. — URL: <https://r-invest.fund/knowledgebase/tehnikeskij-analiz/> (Дата обращения 29.02.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 10 *Кан, М. Н.* Технический анализ. Просто и ясно / М. Н. Кан. — ПИТЕР, 2008. — P. 290.
- 11 Mind: How to Build a Neural Network. [Электронный ресурс]. — URL: <http://stevenmiller888.github.io/>

- [mind-how-to-build-a-neural-network/](#) (Дата обращения 01.09.2018).
Загл. с экр. Яз. англ.
- 12 A Step by Step Backpropagation Example. [Электронный ресурс]. — URL: <https://mattmazur.com/2015/03/17/a-step-by-step-backpropagation-example/> (Дата обращения 05.09.2018). Загл. с экр. Яз. англ.
- 13 Нейронные сети для начинающих. Часть 1 [Электронный ресурс]. — URL: <https://habrahabr.ru/post/312450/> (Дата обращения 17.03.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 14 Нейронные сети для начинающих. Часть 2 [Электронный ресурс]. — URL: <https://habrahabr.ru/post/313216/> (Дата обращения 17.03.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 15 10 misconceptions about Neural Networks [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.turingfinance.com/misconceptions-about-neural-networks/> (Дата обращения 17.11.2018). Загл. с экр. Яз. англ.
- 16 Time Series Forecasting with RNNs. [Электронный ресурс]. — URL: <https://towardsdatascience.com/time-series-forecasting-with-rnns-ff22683bbbb0> (Дата обращения 20.11.2018). Загл. с экр. Яз. англ.
- 17 Understanding LSTM Networks [Электронный ресурс]. — URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (Дата обращения 17.03.2019). Загл. с экр. Яз. англ.
- 18 Long Short Term Memory (LSTM) Networks: Demystified [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.thushv.com/deep-learning/long-short-term-memory-lstm-networks-demystified/> (Дата обращения 19.03.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 19 Long Short Term Memory (LSTM) Networks: Implementing with Tensorflow [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.thushv.com/deep-learning/long-short-term-memory-lstm-networks-implementing-with-tensorflow-part-2/> (Дата обращения 20.03.2019). Загл. с экр. Яз. рус.

- 20 LSTM — сети долгой краткосрочной памяти [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/company/wunderfund/blog/331310/> (Дата обращения 17.03.2019). Загл. с экр. Яз. рус.
- 21 A Beginner's Guide to LSTMs and Recurrent Neural Networks [Электронный ресурс]. — URL: <https://skymind.ai/wiki/lstm> (Дата обращения 16.03.2019). Загл. с экр. Яз. англ.
- 22 LSTM by Example using Tensorflow [Электронный ресурс]. — URL: <https://towardsdatascience.com/lstm-by-example-using-tensorflow-feb0c1968537> (Дата обращения 26.03.2019). Загл. с экр. Яз. англ.
- 23 How to do time series prediction using RNNs, TensorFlow and Cloud ML Engine [Электронный ресурс]. — URL: <https://medium.com/google-cloud/how-to-do-time-series-prediction-using-rnns-and-tensorflow-and-cloud-ml-engine-2ad2eeb189e8> (Дата обращения 25.03.2019). Загл. с экр. Яз. англ.
- 24 TensorFlow API Documentation [Электронный ресурс]. — URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/ (Дата обращения 20.03.2019). Загл. с экр. Яз. англ.
- 25 How to invoke a trained TensorFlow model from Java programs [Электронный ресурс]. — URL: <https://medium.com/google-cloud/how-to-invoke-a-trained-tensorflow-model-from-java-programs-27ed5f4f502d> (Дата обращения 20.11.2018). Загл. с экр. Яз. англ.
- 26 Alpha Vantage API Documentation. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.alphavantage.co/documentation/> (Дата обращения 30.11.2018). Загл. с экр. Яз. рус.
- 27 Stock Market Predictions in Python [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.datacamp.com/community/tutorials/lstm-python-stock-market> (Дата обращения 27.03.2019). Загл. с экр. Яз. англ.
- 28 Прогнозирование финансовых временных рядов с MLP в Keras [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/post/327022/> (Дата обращения 15.02.2019). Загл. с экр. Яз. рус.