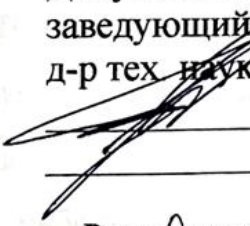


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Факультет компьютерных технологий и прикладной математики
Кафедра анализа данных и искусственного интеллекта

Допустить к защите
заведующий кафедрой
д-р тех. наук, доцент


А. В. Коваленко
_____ 2023 г.

Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
_____ М. Х. Уренов
_____ 2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БИРЖЕВЫХ КОТИРОВОК НА ОСНОВЕ
НЕЙРОСЕТЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА СВЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ

Работу выполнил  _____ А. Р. Чениб
(подпись)

Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Направленность (профиль) Математическое и информационное обеспечение
экономической деятельности

Научный руководитель
канд. пед. наук, доц.  _____ Д. А. Левченко
(подпись)

Нормоконтролер
канд. физ.-мат. наук, доцент  _____ Г. В. Калайдина
(подпись)

Краснодар
2023

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) 53 с., 3 ч., 32 рис., 2 табл., 11 источников.

РЫНОК ЦЕННЫХ БУМАГ, ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, СВЕЧНЫЕ МОДЕЛИ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ,
КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Объектом исследования является технический анализ биржевые котировок ценных бумаг и его автоматизация.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка системы прогнозирования биржевых котировок с использованием классификации свечных моделей нейронными сетями.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены подходы к анализу свечных моделей, построена оптимальная модель нейронной сети для классификации комбинаций японских свечей и разработана программа по прогнозированию котировок на фондовом рынке.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Традиционные подходы к прогнозу биржевых котировок.....	5
1.1 Фундаментальный и технический анализ на рынке ценных бумаг.....	5
1.2 Визуальные методы технического анализа.....	14
1.3 Индикаторные методы технического анализа.....	23
2 Машинное обучение для прогнозирования фондового рынка.....	29
2.1 Обзор существующих платформ для технического анализа.....	29
2.2 Нейронные сети как один из основных видов машинного обучения .	31
2.3 Применение нейросетей в прогнозировании котировок	38
3 Программная реализация системы.....	41
3.1 Описание набора данных	42
3.2 Серверная часть.....	42
3.3 Нейронная сеть.....	43
3.4 Клиентская часть.....	48
Заключение	51
Список использованных источников	52

ВВЕДЕНИЕ

Финансовое прогнозирование лежит в основе формирования и принятия качественного управленческого решения субъектом, определяя дальнейший вектор его развития в системе многофакторной модели экономического роста. Особенно актуальным данный вопрос является в контексте механизма принятия решений для участников рынка ценных бумаг. Наиболее значимыми подходами для этого являются фундаментальный анализ, который строится на изучении рыночных и производственных факторов, определяющих деятельность эмитента, и технический анализ предметом которого является точный математический прогноз цен на основе исторических данных котировок финансовых инструментов на биржевых торгах.

При их комплексном применении оба подхода в теории должны дополнять друг друга, характеризуя как субъективные качественные (фундаментальный) так и объективные количественные (технический) характеристики того или иного решения.

Однако на практике, ввиду человеческого фактора и отсутствия общепринятого доказанного единого подхода, технический анализ все равно обладает такими недостатками как субъективность – когда разные эксперты могут прийти к разным выводам при одинаковых вводных данных, и статистическая погрешность, так как технический анализ опирается на прогнозы, а прогноз никогда не бывает абсолютно точным и погрешность может быть значительной. По этой причине всегда остается риск убытков.

В этой связи актуальной становится задача разработки нейросетевой модели, способной обрабатывать большой объем исторических данных по ценам на бирже и строить на его основе максимально точный прогноз на длительный срок, минимизируя погрешности и исключая фактор человеческой ошибки.

1 Традиционные подходы к прогнозу биржевых котировок

1.1 Фундаментальный и технический анализ на рынке ценных бумаг

Деятельность участников финансового рынка построена на принятии решений, которые должны быть оценены с точки зрения доходности и убыточности. Для снижения рисков проведения убыточной операции и максимально эффективного использования финансовых инструментов применяются различные методы анализа рентабельности ценных бумаг с целью дальнейшего прогноза их котировок.

В современной науке насчитывается свыше 100 методов прогнозирования, применяемых в биржевом анализе. Существуют различные варианты их классификации, однако наибольшее распространение получила систематизация, основанная на двух основных подходах к инвестиционному анализу:

- фундаментальный, подразумевающий сбор и изучение особенностей отрасли с целью долгосрочного прогноза;
- технический, построен на исследовании информации о фактически проведенных операциях с целью выявления взаимосвязей и закономерностей.

Фундаментальный анализ – это метод анализа, нацеленный на прогнозирование изменения цены с точки зрения изучения политико-экономической ситуации в мире и в стране, экономической ситуации и общего состояния в отрасли, в конкретном эмитенте.

Основы фундаментального анализа были заложены в 1934 г. профессорами Колумбийского университета США Б. Грэхэмом и Д. Доддом. Главная его идея заключается в том, что в основе рыночной цены актива лежит фундаментальная (внутренняя) стоимость, которая может быть выявлена на основе анализа макроэкономических, отраслевых и уникальных факторов, определяющих поток выгод держателям актива.

Исходя из этого, основной целью фундаментального анализа является определение внутренней стоимости актива и прогнозирование возможных изменений этой стоимости в будущем.

В основе фундаментального анализа лежат следующие положения:

1) Рыночная цена любого актива определяется приносимыми в будущем выгодами и степенью риска получения этих выгод, а также возможностью получения инвестором части выгод, которая соответствует доли владения. Следовательно, для прогноза рыночной цены необходимо оценить справедливую стоимость этого актива.

2) Приносимые в будущем выгоды и уровень их риска в значительной степени зависят от макроэкономических и отраслевых факторов, часто называемых фундаментальными. Воздействовать на фундаментальные факторы отдельные инвесторы не могут.

3) Приносимые в будущем доходы от компании, а также справедливость их распределения между инвесторами зависят также от внутренних факторов (внутренних решений) компании — финансовых, корпоративного управления и т.п. Внутренние решения более динамичны поэтому складывающаяся цена на рынке и ее краткосрочные колебания в определенной мере зависят от изменения внутренних факторов.

Технический анализ финансовых рынков – это визуальный и математический анализ выбранных аналитиком параметров рынка (цены, объема торгов, значений фондовых индексов и т. п.) за определенный период, т. е. в динамике, с целью выявления будущей тенденции поведения выбранных параметров [1]. Строится на гипотезе о возможности определения будущей стоимости акций на основе прошлой динамики цен и объемов сделок.

Технический анализ ориентирован для выявления краткосрочных рыночных колебаний и игры на них. Методы технического анализа успешно применяются для высоколиквидных активов. Все российские крупные инвестиционные компании используют технический анализ при разработке активных стратегий инвестирования ввиду того, что когда финансовый и

фондовый рынок начинают вести себя «неэффективно» и наблюдается паника, то именно технический анализ позволяет сделать максимально точный краткосрочный прогноз.

Основу технического анализа составляет исследование графического представления подобных зависимостей, поэтому можно сказать, что технический анализ – это анализ графиков. Поскольку главным параметром сделки на финансовых рынках является ее цена, технический анализ в подавляющем большинстве случаев исследует тенденции именно цены выбранных активов, соответственно основные анализируемые графики – это ценовые графики. Для построения надежного прогноза необходим достаточно большой массив актуальных данных.

В основу технического анализа заложены следующие принципы:

1) Рынок учитывает всё. В соответствии с ним цена на актив определяется спросом и предложением на него, которые в свою очередь формируются под воздействием всех возможных факторов (экономических, политических, климатических, психологических и т. д.). Исходя из этого в основе лежит анализ цены и объемов торгов как конечного результата отражения всех возможных внутренних и внешних событий на исследуемый рынок.

2) Движение цен подчинено тенденциям – в течение какого-либо периода времени изменение цен происходит не хаотично, а подчиняясь некоторой закономерности, которая существует некоторое время и проявляется в тенденции конкретной направленности.

3) История повторяется. Данный принцип позволяет применить ранее найденные закономерности и модели движения цен к будущему поведению цены, обеспечивая таким образом саму возможность прогнозирования.

Первый принцип технического анализа фактически указывает на отсутствие необходимости фундаментального подхода к прогнозу цены актива ввиду того, что рыночные цены уже учитывают все знания, желания и действия всех участников рынка, отражая их в своей динамике.

На практике фундаментальный анализ как правило применяется с целью отбора ценных бумаг для вложения денежных средств либо их продажи и формирования высокодоходного инвестиционного портфеля. Технический анализ используется уже непосредственно для выбора времени совершения операции покупки либо продажи выбранного для анализа актива. Однако данное правило не является неукоснительным и имеет больше рекомендательный характер.

Сравнительную характеристику вышеперечисленных подходов можно представить в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики фундаментального и технического анализа.

Характеристика	Фундаментальный анализ	Технический анализ
Основная идея	Внутренняя стоимость определяется фундаментальными факторами	Цена отражает все факторы, она изменяется в трендах, которые повторяются
Цель	Прогнозирование цен на основе общественных, экономических, статистических и иных данных компании, отрасли и рынка	Прогнозирование цен на основе выявления закономерностей и тенденций в исторической динамике их значений
Объект анализа	Фундаментальная информация	Динамика цен в прошлом
Форма исходных данных	Экономические отчеты, новости, факты и статистика	Временные диаграммы
Применение	Выбор инструмента размещения/вывода средств	Выбор времени совершения операции
Срок инвестирования	Долгосрочное инвестирование	Краткосрочное инвестирование

Исходя из описанных свойств фундаментального и технического анализа следует выделить следующие их преимущества и недостатки (таблица 2) [2].

Таблица 2 – Преимущества и недостатки фундаментального и технического анализа

	Фундаментальный анализ	Технический анализ
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Используются общенаучные, статистические, экономические и эконометрические методы – Качественная профессиональная оценка 	<ul style="list-style-type: none"> – Решение принимается на основе конкретных значений графиков и цифр – Быстрота анализа
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> – Не учитывает психологический фактор – Риск использования недостоверных сведений – Субъективное мнение эксперта – Трудоемкость, требование профессиональных и временных ресурсов 	<ul style="list-style-type: none"> – Отсутствие научно доказанной теоретической базы – Невозможность принятия однозначного решения на основе исходных данных

К методам, применяемым в фундаментальном анализе, относятся стандартные общенаучные, статистические и экономические методы исследования. В качестве основных из них можно выделить такие как:

- 1) сравнительный метод;
- 2) дедуктивный метод;
- 3) индуктивный метод;
- 4) метод корреляции;
- 5) метод группировки и обобщения;
- 6) метод сезонных колебаний.

Сравнительный метод построен на поиске аналогичных активов по определенному перечню критериев, например отрасль компании, вид инструмента, срочность сделки и т. д. и применению выявленных тенденций

по известным экономическим показателям одного актива к схожему ему анализируемому инструменту.

Дедуктивный метод – от общего к частному, применение свойств отрасли к отдельной компании, компании к отдельному финансовому инструменту и пр.

Индуктивный метод – от частного к общему, анализ отдельных показателей актива и применение полученных выводов к компании-эмитенту, показателей деятельности компании ко всей отрасли.

Метод корреляции – это измерение зависимости объектов друг от друга, например обратная зависимость стоимости доллара и нефти. Применяется при формировании инвестиционного портфеля с целью диверсификации рисков, а также прогноза цены одного актива на основе данных коррелируемого с ним показателя.

Метод группировки и обобщения. Этот метод фундаментального анализа предполагает структурирование различных активов по одному либо нескольким признакам. Затем проводится анализ сформированных групп и на основе этого делается вывод о потенциале роста

Метод сезонных колебаний основан на анализе показателей актива, имеющих сезонный характер: наступление срока выплаты дивидендов, утверждение финансового плана компании на следующий период, праздничные события, закрытие отчетного периода, а также сезонность отдельных отраслей экономики (например, сельское хозяйство, туризм и т. д.) [3].

В отличие от фундаментального, технический анализ имеет более специфические методы и инструменты, отличные от стандартных общенаучных методов.

Прежде всего обозначим основные понятия технического анализа: тренд, импульс и коррекция, сопротивление и поддержка, фигуры разворота тренда (рис. 1).

Тренд – это выражение тенденции (визуально – прямая линия графика), показывающей преимущественное за данный период направление движения цены. Например, различают повышательный (бычий) тренд – указывает на рост цены с течением времени, понижательный (медвежий) тренд – снижение цены с течением времени и нейтральный (боковой) тренд – цены колеблются около одного значения.

Импульс – это относительно краткосрочное по сравнению с длительностью господствующего тренда движение цены в направлении этого тренда.

Коррекция – это временный откат цены в направлении, противоположном господствующему тренду.

Линия сопротивления (уровень сопротивления) строится по важным максимумам графика и представляет собой тот уровень, выше которого цены за определенный аналитиком период не смогли подняться.

Линия поддержки (уровень поддержки) строится по важным минимумам графика и представляет собой уровень, ниже которого за определенный аналитиком период цены не смогли опуститься.

Фигуры разворота (модели разворота) тренда – это сочетание нескольких элементов анализируемого графика (свечей, баров, линий), которые являются сигналом возможного скорого разворота тренда. Фигура разворота считается сформированной, если цена пробивает линию, которая является границей этой фигуры.



Рисунок 1 – Элементы графиков цен на бирже

Обозначенные термины применяются при анализе графиков цен актива, которые также классифицируют в зависимости от визуализируемых ими индикаторов.

Линейный (точечный) график – показывает зависимость одного конкретного параметра от времени (рис. 2). Самый простой и наиболее популярный тип построения графика. Позволяет провести первичный поверхностный анализ временного ряда, отследить общие тенденции и интерпретировать имеющиеся данные. Используется для долгосрочного анализа, не отображает динамику цен внутри одного дня.

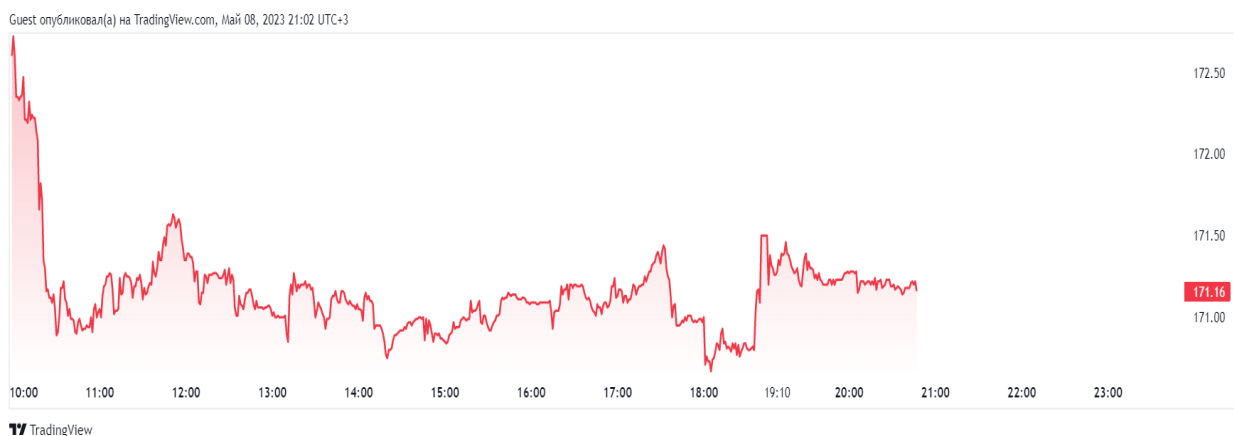


Рисунок 2 – Линейный график цен на бирже

График баров – в отличие от линейного, включает три или четыре показателя значения цены в один промежуток времени: цену открытия (не всегда), минимальную цену, максимальную цену и цену закрытия. В результате по фигуре на графике – бару можно проанализировать изменение цены внутри одного дня. Например, на основе длины бара отслеживается диапазон между ценами открытия и закрытия.

График японских свечей – является модификацией графика баров, в котором цветовыми различиями обозначаются цены открытия и закрытия дней торгов (рис. 3). Если цена открытия была меньше цены закрытия, то есть наблюдалась положительная динамика в течение дня, то свеча обозначается зеленым или белым цветом. Если же наоборот, цена открытия больше цены закрытия, то есть цена снизилась – то красным или черным. Также у свечи есть фитиль, или тень, которая указывает на внутридневные максимумы и минимумы.



Рисунок 3 – График японских свечей

Ввиду наиболее наглядного отражения всех процессов торгов, методы анализа, построенные на графике японских свечей, отличаются максимальной точностью и качеством прогноза, в отличие от иных методов технического анализа [1].

1.2 Визуальные методы технического анализа

Как описывалось выше, основу технического анализа составляет анализ графиков цен, который осуществляется как в визуальной части, так и в части значений отраженных на нем индикаторов. Ввиду этого все методы технического анализа классифицируются на визуальные и индикаторные, как представлено на рисунке 4.

Визуальные методы анализа построены на определении вариантов ценовых изменений с помощью начертания различных линий и фигур, комбинаций японских свечей и рисунков волн на графике котировок.



Рисунок 4 – Методы технического анализа

Анализ линий сопротивления и поддержки является классическим методом, который может применяться как на простом линейном графике, так и на графиках баров и свечей для обозначения общих тенденций изменения цены. Простейшие геометрические фигуры, которые образуются линиями сопротивления и поддержки, интерпретируются следующим образом.

Треугольник – образуется на графике сходящимися или расходящимися линиями, цены внутри которого должны касаться соответствующих линий минимум 2-3 раза, что позволяет выявить основные зоны сопротивления и поддержки. С его помощью можно найти точку пробоя, которая укажет на изменение тренда. В зависимости формы можно спрогнозировать в какую сторону будет двигаться цена в дальнейшем. Различают следующие формы треугольников (рис. 5).



Рисунок 5 – Разновидности паттерна Треугольник

Симметричный треугольник указывает на боковой тренд и является чаще фигурой продолжения тренда – если до его возникновения на графике цены опускались вниз, то после формирования симметричного треугольника вероятнее всего медвежий тренд продолжится.

Восходящий треугольник на понижательном или боковом тренде часто указывает на разворот цены в сторону повышения. В свою очередь нисходящий треугольник при повышающейся цене будет сигналом к её снижению.

Расходящийся треугольник показывает ослабление действующего тренда и может считаться сигналом к его развороту тренда.

Клин – также образуется на максимумах и минимумах цены, но в отличие от треугольника обе линии наклонены либо вверх, либо вниз (рис. 6).

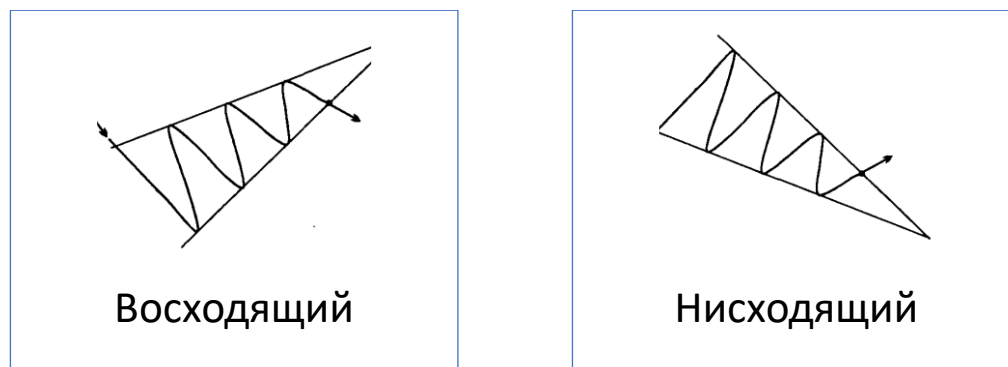


Рисунок 6 – Разновидности паттерна Клин

Различаются по направлениям на восходящий и нисходящий. Относится к разворотным фигурам, так как предвещает разворот в противоположенную от текущей тенденции сторону: при бычьей – падение цены, при медвежьей – рост.

Прямоугольники – образуются параллельными линиями сопротивления и поддержки и являются типичными моделями продолжения тренда и бокового тренда. Отличительной особенностью фигуры является её длительность – как правило паттерн может длиться более недели. В зависимости от стратегии трейдера может применяться для сделок с минимальным риском скачка цен, но для проведения краткосрочных сделок не несет пользы. Чем длительнее срок прямоугольника, тем выше риск возникновения пробоя (рис. 7).



Рисунок 7 – Паттерн Прямоугольник

Флаги и вымпелы, в отличие от прямоугольников присутствуют на краткосрочных трендах и представляют собой прямоугольник (для флага) или треугольник (для вымпела), которые образовались после резкого краткосрочного импульса, образованного после большого ценового разрыва («флагшток»). Ввиду их кратковременности являются показателем коррекции тренда, но не разворота. Резкие скачки обычно связаны не с экономическими факторами, а чрезвычайными событиями (рис. 8).

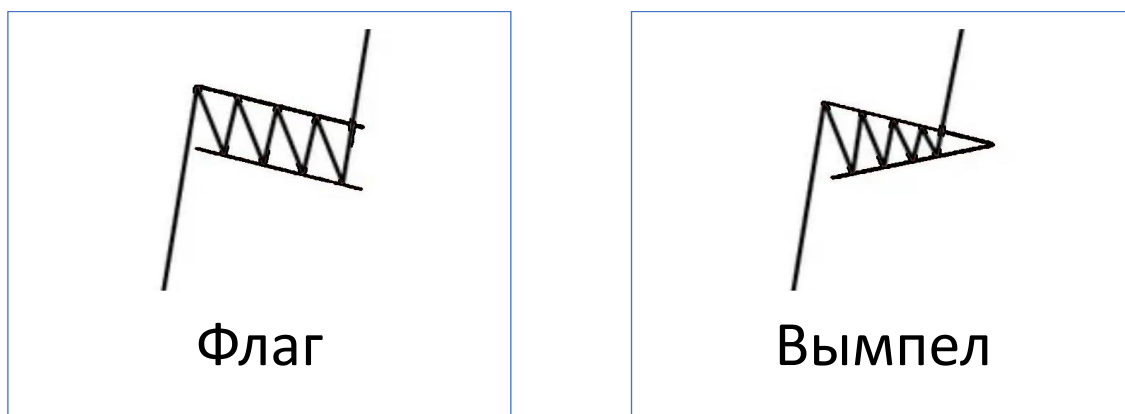


Рисунок 8 – Паттерны Флаг и Вымпел

После формирования паттерна торговля обычно продолжается в направлении предыдущего тренда [1].

Метод японских свечей был изобретен еще в 17 в. японским торговцем Хоммой и ввиду максимальной информативности при минимальной визуализации значений котировок приобрел свою популярность в 20 в. на фондовой бирже, став основным методом анализа, применяемым в рыночном прогнозировании.

Изображение свечи на графике несет в себе информацию о значениях четырех показателей: цена открытия, цена закрытия, максимальная цена и минимальная цена. Свеча состоит из тела и тени. Тело свечи представляет собой пространство между ценой открытия и закрытия, в форме прямоугольника, цвет которого указывает на тренд. Тень свечи демонстрирует

наивысшие и наименьшие точки цены во время торгов за выбранный период (рис. 9).

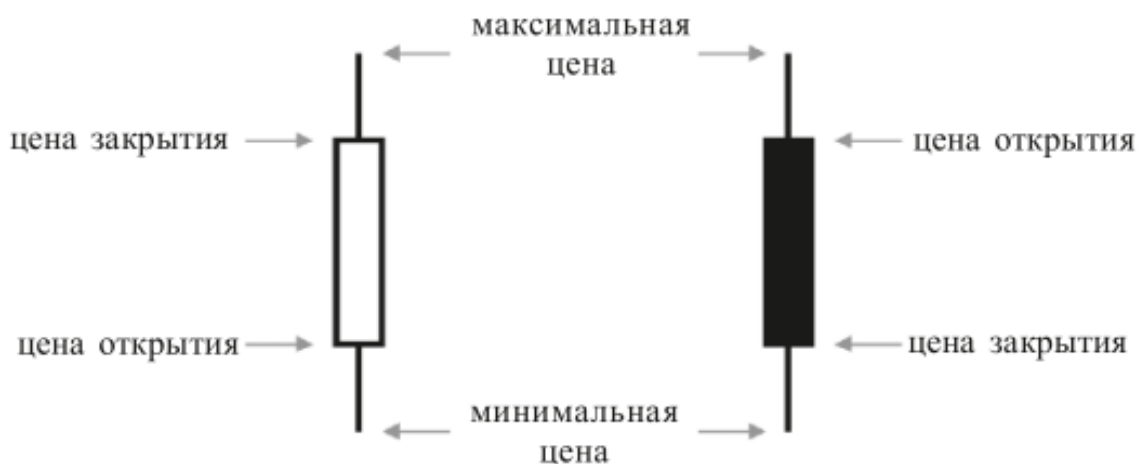


Рисунок 9 – Японские свечи

Существует более сотни паттернов свечей и их комбинации постоянно пополняются. Приведем примеры базовых классических свечных моделей.

Марибозу (в переводе «лысый») – это длинная свеча, не имеющая теней либо с одной, либо с обеих сторон, которая явно выделяется в общем тренде (рис. 10).

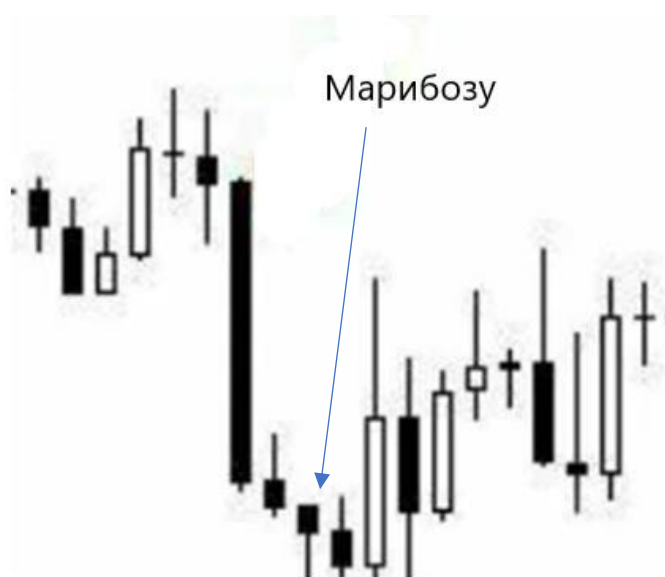


Рисунок 10 – Паттерн Марибозу

Есть множество разновидностей: белый (бычий) марибозу, черный (медвежий) марибозу, марибозу открытия, марибозу закрытия (рис. 11).

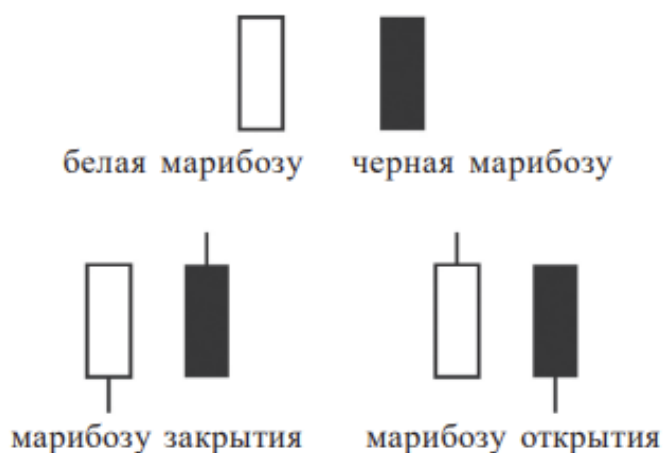


Рисунок 11 – Разновидности паттерна Марибозу

Возникновение марибозу на графике предвещает усиление соответствующего тренда – белая бычьего, черная медвежьего.

Молот – короткая свеча с длинным нижним фитилем на дне медвежьего тренда. Цвет корпуса указывает на соответствующий тренд. Данный паттерн в бычьем тренде свидетельствует о том, что в начале продавцы понизили цену, но затем спрос покупателей привел к её повышению выше цены открытия. Соответственно медвежий молот подразумевает цена открытия превышает цену закрытия и длинный нижний фитиль образован из-за усиления предложения со стороны продавцов (рис. 12).



Рисунок 12 – Паттерн Молот

Поглощение – еще один паттерн разворота, который состоит из двух свеч, первая из которых небольшого размера, а вторая длиннее более, чем в 2 раза и с противоположным направлением. С точки зрения анализа данная комбинация указывает на неопределенность игроков рынка в текущей тенденции, её ослабление и импульсное изменение. В результате вновь возникающий тренд укрепляется и участники уверенно выстраивают свою стратегию в соответствии с заданным направлением движения цены (рис. 13) [4].



Рисунок 13 – Паттерн Поглощение

Далее рассмотрим *метод волн Эллиота*. Цикличность экономических процессов была неоднократно доказана такими законами как Кондратьевские циклы (50-60 лет), 40-месячные волны Ротшильдов и т.д. На основе закона цикличности финансист Ральф Эллиот применил волновой подход к анализу графиков биржевых цен. Обратив внимание на повторяющиеся со временем паттерны, Эллиот предложил расчет их периодичности и амплитуды в соответствии с последовательностью чисел Фибоначчи, разработав так называемую пятиволновую модель как фазу волнового цикла.

Пятиволновая модель (рис. 14) представляет собой график состоящий из 3 волн направленного движения (1, 3, 5) – движущие волны и 2 противоположного основному (2, 4) – корректирующие.

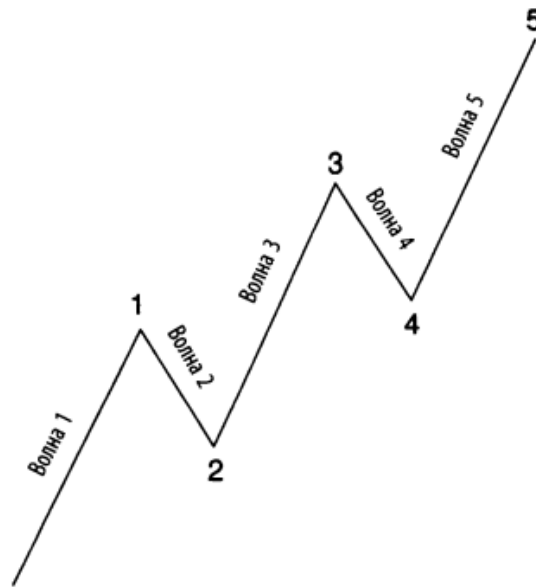


Рисунок 14 – Пятиволновая модель

Эллиотт выделил 3 правила пятиволновой модели:

- волна 2 никогда не пересекает стартовую точку волны 1;
- волна 3 никогда не бывает самой короткой из волн;
- волна 4 никогда не заходит на ценовую территорию волны 1.

Таким образом, в любой момент времени рынок находится в некоторой точке пятиволновой модели развития тренда. Поскольку пятиволновая модель – основная форма движения рынка, все остальные модели являются частью пятиволновой последовательности.

Волновой цикл по Эллиоту состоит из восьми волн по 2 фазы: первая фаза – 5 волн из пятиволновой модели; вторая фаза – 3 волны коррективные (рис. 15).

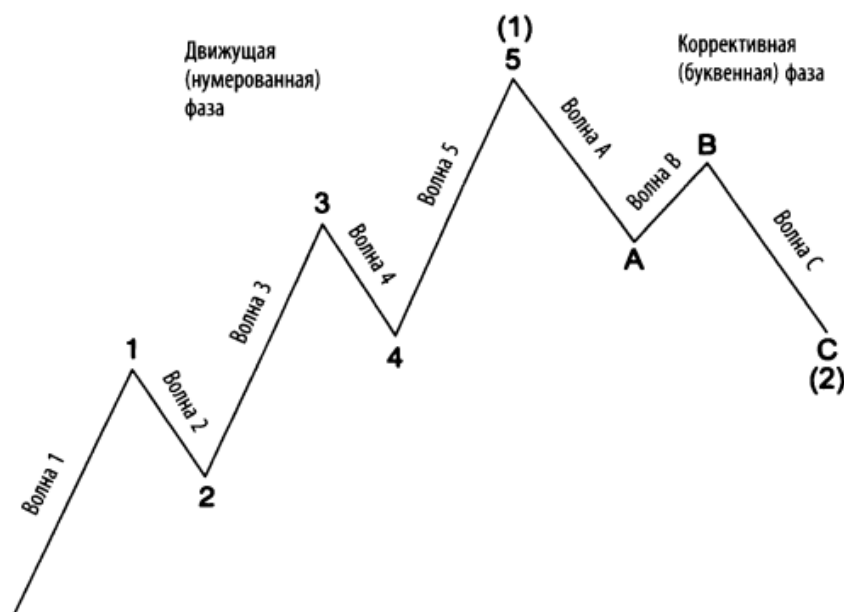


Рисунок 15 – Волновой цикл по Эллиоту

В свою очередь, полный цикл повторяется по этим же законам, то есть его движение образует волны, являющиеся частью цикла, образующегося по этим же законам 8 волн. Такая конструкция раскрывает очень важное обстоятельство: движущие волны не всегда направлены вверх, а коррективные волны не всегда направлены вниз. Вид волны определяется не ее абсолютным направлением, но в первую очередь ее относительным направлением.

На основе волн Эллиота возможно отследить общие тенденции рынка и составить общую картину его движения, что является важным фактом для общего, но не краткосрочного прогноза [1].

1.3 Индикаторные методы технического анализа

В отличие от методов визуального анализа, которые руководствуются динамикой непосредственно цен, индикаторные методы анализа построены на расчете коэффициентов, индикаторов из исходных данных котировок, чтобы интерпретировать полученные значения в прогнозе движения тренда. Иными

словами, индикаторный анализ математически оценивает график и его элементы, что снижает субъективность результата.

В качестве индикаторов применяются формулы математических, статистических и эконометрических коэффициентов, рассчитывающих скорость, направление, вероятность изменения и другие свойства тренда.

Методы, основанные на скользящих средних, относятся к предсказывающим развороты тренда.

Различают простую скользящую среднюю (SMA – Simple Moving Average), иными словами, расчет обычного среднего арифметического цены закрытия за выбранный период времени. Также, для более точного расчета используются взвешенная (WMA – Weighted Moving Average) и экспоненциальная скользящая средняя (EMA – Exponential Moving Average).

Взвешенная скользящая средняя вычисляется по формуле (1):

$$WMA = \text{Sum}(W_n * P_n) / \text{Sum}(W_n), \quad (1)$$

где P_n – значение цены (P_1, P_2, \dots, P_n);

W_n – вес цены, вычисляется таким образом, что чем ближе цена к ее нынешнему значению (к P_1), тем больше ее вес: $W_n = 1/n$.

Экспоненциальная скользящая средняя отличается более высоким весом последних цен, что повышает качество прогноза. Рассчитывается по формуле (2):

$$EMA = EMA(k-1) + (2/(n+1)) * (P_k - EMA(k-1)), \quad (2)$$

где $EMA(k-1)$ – предыдущее значение экспоненциальной скользящей средней;

n – Период скользящей средней;

P_k – текущая цена.

Анализ по индикатору скользящей средней строится на построении графиков быстрой (за короткий период) и медленной (за более длительный промежуток времени) скользящей средней. Для расчета скользящей средней применяются периоды по последовательности Фибоначчи. Например, быстрая 5 дней – медленная 13 дней, или быстрая 8 дней – медленная 21 день. Пересечение графиков быстрой и медленной скользящих трактуется как сигнал к развороту тренда. Если быстрая пересекает медленную сверху вниз, то следует начать применять медвежью стратегию, так как цена понизится. Если быстрая пересекает медленную снизу вверх, то это указывает на рост цены и соответственно бычий разворот.

Наибольшее распространение среди методов, построенных на индикаторе скользящей средней, получили Полосы Боллинджера. Данный метод основан на анализе значений скользящей средней с учетом её отклонения за выбранный период. Для этого по берутся показатели цен закрытия торгов за определенный промежуток времени и рассчитывается их скользящая средняя. Затем рассчитывается дисперсия – из каждого значения цены закрытия вычитается значение скользящей средней. Квадратный корень из отношения суммы полученных значений отклонений к количеству дней периода является стандартным отклонением выбранного ряда котировок (формула (3)).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (3)$$

где σ – стандартное отклонение;

x – цена закрытия;

i – порядковый номер котировки;

μ – скользящая средняя;

N – количество дней в периоде.

Полосы Боллинджера представляют собой два графика рассчитываемых по следующим формулам. Верхний график – это сумма скользящей средней и, умноженного на специальный коэффициент (подбирается в зависимости от длительности выбранного периода), отклонения. Нижний график – это разница скользящей средней и, умноженного на специальный коэффициент, отклонения.

Таким образом для анализа используются три графика: верхний график, график цен и нижний график (рис. 16).



Рисунок 16 – Полосы Боллинджера

Трактовка результатов, изображенных на графиках, осуществляется посредством визуального анализа. Существуют целые наборы паттернов, применяемых именно к изображениям и формам графиков полос Боллинджера.

Основным правилом следует считать, что верхний график представляет собой линию сопротивления, а нижний – линию поддержки. Следовательно

приближение, касание и пересечение графиком цен полос означает разворот тренда.

Разница между значениями верхнего и нижнего графика, иными словами расширение либо сужение канала дает оценку степени волатильности рынка. Чем больше дифференциация – то есть канал визуально шире, тем выше изменчивость. Низкий уровень дифференциации является показателем бокового тренда, который на графике представлен узким каналом. Таким образом, чем дольше сохраняется расширенный или суженный канал, тем выше вероятность смены направления тренда.

Помимо скользящей средней, применяются *методы, построенные на индикаторах скорости и мощности рынка*. Они отличаются более простыми формулами расчета. Но при этом выделяются более высокой точностью и информативностью, так как указывают не только сигналы сохранения либо смены тренда, но и скорость его изменения.

Индикатор моментум – показывает исключительно скорость изменения котировок за выделенный временной промежуток. Существует простой (первоначальный) и сложный варианты его расчета.

Простой моментум рассчитывается как разница между текущей ценой и ценой закрытия N дней назад. Его трактовка строится на том, что положительное значение указывает на бычий тренд – текущая цена выше предыдущей, соответственно более выгодной будет продажа ценных бумаг. И наоборот, отрицательное значение – медвежий тренд.

Сложный моментум, или индикатор темпа изменений – это отношение текущей цены к цене закрытия N дней назад в процентной величине. Аналогично простому сохраняется прямая пропорциональная зависимость между ростом цены и значением индикатора: если индикатор превышает 100%, то цена растет; если меньше 100%, то цена падает.

Непосредственно в прогнозировании и оценки скорости моментум рассматривается на фоне общего тренда. В бычьем тренде отрицательный или ниже 100% моментум является показателем снижения скорости;

положительный или выше 100% – увеличением скорости действующего тренда. То есть значение моментума, совпадающее по своему направлению с текущей динамикой котировок, свидетельствует об увеличении скорости её движения; обратное текущему тренду – его замедление. Если моментум равен нулю, то это оценивается как сигнал к развороту. Но при этом если моментум приближается к нулю, а тренд имеет колебательный характер, то вероятнее всего график цен вернется к предыдущему тренду.

Индекс относительной силы (RSI) является процентным индикатором (от 0 до 100%), показывающим соотношение положительных и отрицательных изменений котировок. Один из самых популярных коэффициентов, отличающийся простотой, но при этом высоким качеством информации о величине и скорости изменения цены.

Формула расчета представлена отношением среднего увеличения цены за определенное количество периодов (обычно 9 или 14 дней) к его среднему снижению. Значения от 0 до 100 характеризуют силу тренда. Значение 50 означает, что средние величины роста и снижения цены совпадают. Снижение импульса указывает на рост цены, то есть медвежий тренд. Увеличение импульса – на рост цены, что является следствием активности покупателей и сигналом к бычьему тренду.

Слишком высокое (более 70%) или слишком низкое (менее 30%) значение индикатора трактуется как сигнал разворота. Особым показателем индикатора является ситуация дивергенции, когда цена достигает своего максимума или минимума, но индикатор RSI наоборот, достигает минимального либо максимального рекорда соответственно. Это также говорит о возможном развороте цены [1].

2 Машинное обучение для прогнозирования фондового рынка

2.1 Обзор существующих платформ для технического анализа

Рассмотренные методы технического анализа позволяют провести точный прогноз при их совокупном применении. Оценка максимально большого массива данных по различным параметрам и индикаторам является основной задачей трейдера, стремящегося совершить максимально доходную операцию минимизировав возможные убытки за счет качественного расчета всех факторов.

В связи с этим актуальным стало применение программных платформ, позволяющих в режиме реального времени анализировать котировки ценных бумаг, как техническими, так и фундаментальными методами. Рассмотрим наиболее популярные из них.

Бренд MetaTrader был разработан казанскими специалистами в 2003 г. Сегодня этой информационно-торговой платформой пользуются по всему миру. Помимо возможности проведения торгов и совершения сделок, на MetaTrader дает возможность вести анализ с помощью автоматического расчета 38 индикаторов, как базовых, так и узкоспециализированных. Информация о ценах может быть представлена всеми видами графиков: линейный, баров, свечей и т. д. При этом что индикаторы, что визуальное представление котировок можно использовать одновременно. Для фундаментального анализа платформа содержит постоянно обновляемую ленту новостей [5].

Еще одной популярной программой теханализа является информационный сервис TradingView, запущенная в 2011 году. Главным её преимуществом является бесплатное построение графиков, расчет более 100 технических индикаторов и визуальная настройка диаграмм. Ещё одной её особенностью стоит выделить функцию тестирования торговых решений на

исторических данных. Так совершив операцию в тестовой области, можно проверить её доходность и риск через N промежуток времени [6].

Платформа ATAS также представляет собой как торговую, так и информационную площадку для рынка ценных бумаг. Количество индикаторов применяемых на ней существенно уступает сервису TradingView, но обладает преимуществом относительно MetaTrader – всего используется 58 индикаторов. Это отличает её как наиболее оптимально настроенную, с неперегруженным показателями интерфейсом, но при этом максимально полно отражающую все закономерности рынка. Отражение движения цен возможно на 14 вариантах графиков. Также ресурс настроен на возможность проведения анализа не только по ценам котировок, но и по таким параметрам, как объем совершенных операций и движение участников, то есть на кластерный анализ [7].

Помимо перечисленных, количество информационно-аналитических платформ как для технического, так и для смешанного анализа постоянно растет. В этих условиях основными их достоинствами является максимальное число индикаторов для анализа, что позволит обыграть конкурентов с использованием уникального показателя вновь выявленной закономерности в направлении движения цены.

В то же время важным является эргономичный и удобный интерфейс, который не будет отвлекать от второстепенной информации и даст сконцентрироваться на самом главном. Для этого требуется предусмотреть возможность его пользовательской настройки под задаваемые им параметры.

Однако несмотря на количество и свойства всех сервисов для теханализа все они являются лишь витриной данных, по результатам анализа которых трейдер должен сам принять решение и оценить дальнейшее направление, скорость и наиболее вероятное значение цены.

Ввиду этого ещё более актуальным становится использование программ самостоятельно определяющих параметры трендов и цен, тем самым предоставляя пользователю готовое решение. Такими являются модели

искусственных нейронных сетей, способные по первичным данным рынка диагностировать направление тренда и прогнозировать котировки.

2.2 Нейронные сети как один из основных видов машинного обучения

Нейронные сети состоят из отдельных слоев, из которых первый слой называется входным, средний слой – скрытым и последний называется выходным (рис. 17). На входном слое в нейроны подаются значения входных переменных, на выходном слое выходные сигналы нейрона присваиваются выходным переменным.

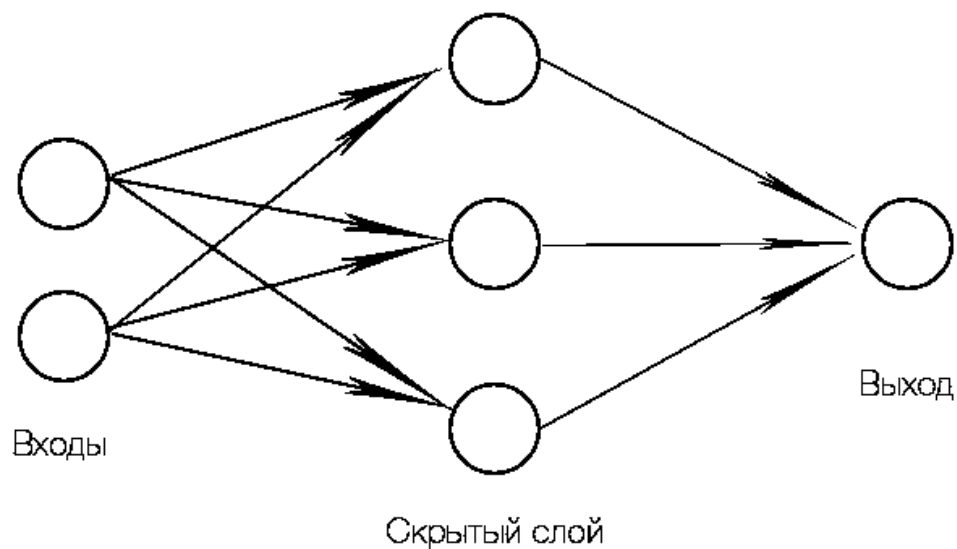


Рисунок 17 – Обобщенная структура ИНС

Каждый нейрон, по сути, выполняет нелинейное преобразование входного сигнала в выходной по формуле (4):

$$y_k = \varphi_k \left(\sum_i w_{ki} x_i + b_k \right). \quad (4)$$

Схема нейрона, описываемого формулой 4, представлена на рисунке 18:

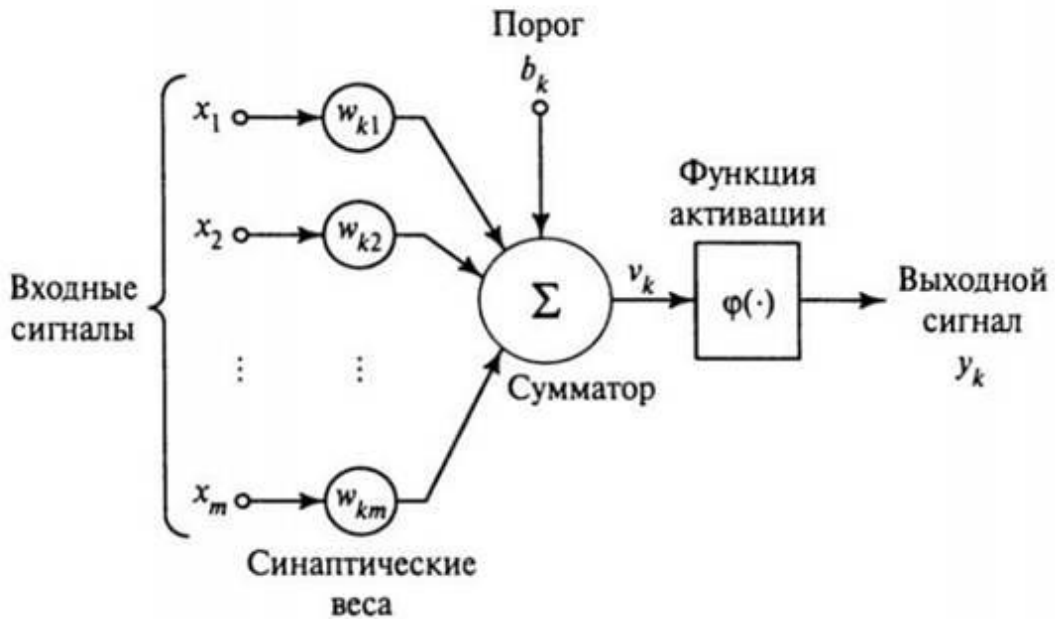
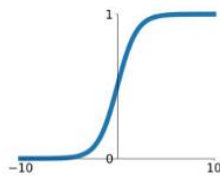


Рисунок 18 – Схема отдельного нейрона

Функция активации определяет силу выходного сигнала. Существуют различные нелинейные функции, которые можно использовать для активации. Наиболее распространенными являются сигмоида, гиперболический тангенс, линейный выпрямитель (Rectified linear unit, ReLU) (рис. 19) [8].

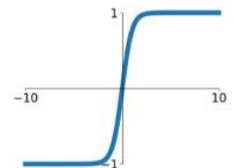
Sigmoid

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$



tanh

$$\tanh(x)$$



ReLU

$$\max(0, x)$$

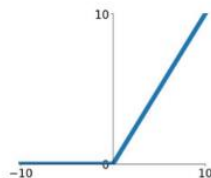


Рисунок 19 – Функции активации

Создание нейронной сети включает в себя обучение сети, главной целью которого является способность выдавать правильные результаты

классификации, как для обучающей выборки данных, так и для схожих данных, неидентичных обучающей выборке.

Обучение состоит из следующих этапов:

1) Предсказание для входа из обучающего набора данных выходного сигнала с учетом весов, проинициализированных некоторым начальным значением.

2) Вычисление ошибки предсказания с помощью функции потерь. Чаще всего в качестве нее используется среднеквадратическое отклонение (MSE) описываемого формулой (5):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i')^2, \quad (5)$$

где n – размерность одного образца,

Y_i – истинное значение, которое должно быть на выходе сети,

Y_i' – предсказанное значение, которое получилось на выходе сети.

3) Уменьшение потерь выполняется оптимизатором, который реализует алгоритм обратного распространения – корректировку параметров для сокращения потерь.

4) Процесс предсказания повторяется для откорректированных весов.

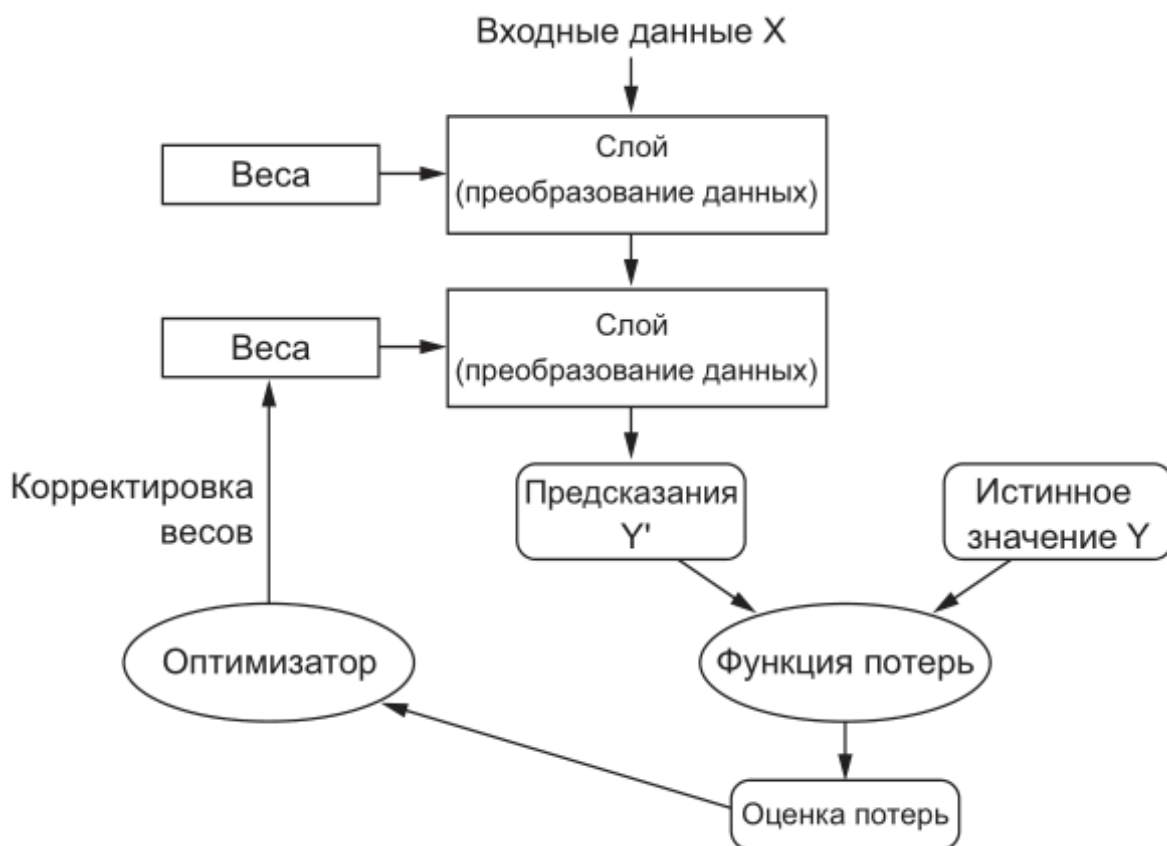


Рисунок 20 – Принцип действия обучения нейронной сети

Данные этапы составляют одну эпоху в обучении нейронной сети (рис. 20). Сеть считается обученной, если она на выходе дает предсказание с достаточно минимальными потерями [9].

В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Также можно обучить нейронную сеть предсказать будущее значение некоторой последовательности на основе нескольких предыдущих значений.

Прогнозирование с помощью нейронных сетей предполагает работу с входными данными, представляющими последовательность, поэтому немаловажно чтобы нейронная сеть, обрабатывая очередной показатель в определенный момент времени, умела основываться на значениях в предыдущие моменты времени. Это позволяют сделать рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) (рис. 21).

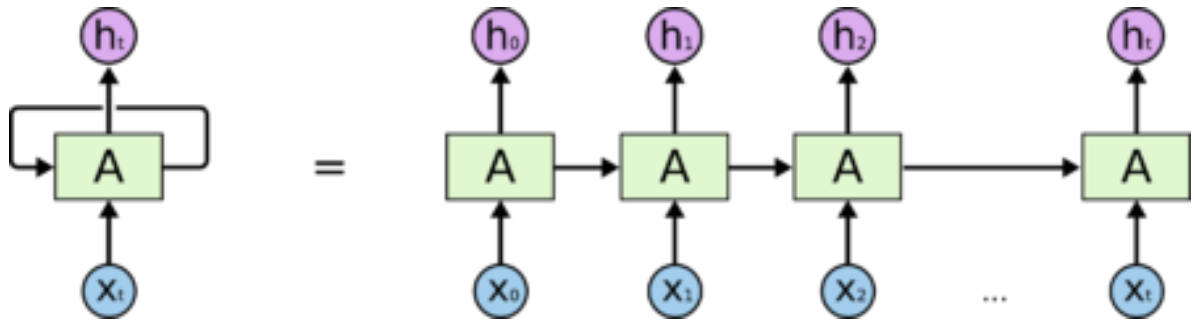


Рисунок 21 – Рекуррентная нейронная сеть и ее развернутое представление

В такой сети ячейка получает входную последовательность и обрабатывает ее в цикле (рис. 22): на вход подается элемент, и преобразованное значение отправляется как на выходной слой, так и на вход со следующим элементов последовательности. На этом начинается новая итерация цикла с учетом результата для предыдущего значения.

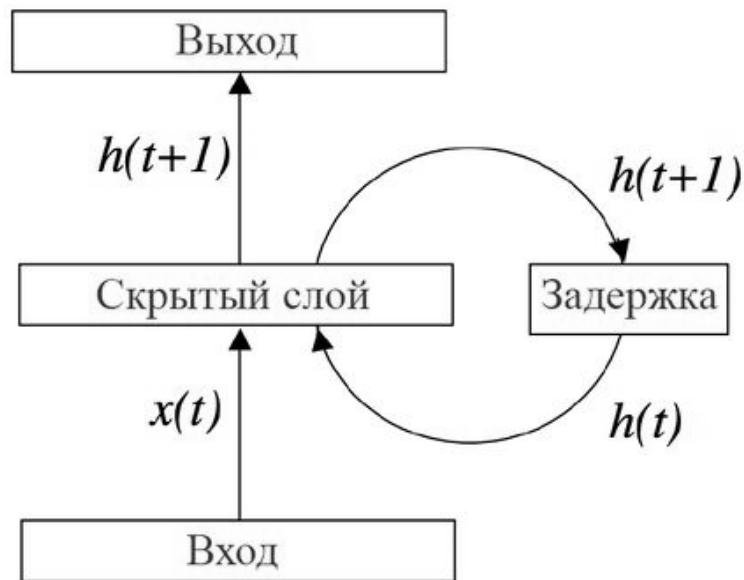


Рисунок 22 – Схема работы скрытого слоя

Однако у рекуррентных сетей проблема в том, что по мере получения новых значений влияние предыдущих значений ослабевает. Эту проблему

призваны решить сети с долгой краткосрочной памятью (Long short-term memory; LSTM) [10].

Долгая краткосрочная память – разновидность рекуррентной нейронной сети, способная к обучению долговременным зависимостям. Ее особенностью является наличие у ячейки состояния, которое регулируется так называемыми фильтрами (англ. «gate») (рис. 23).

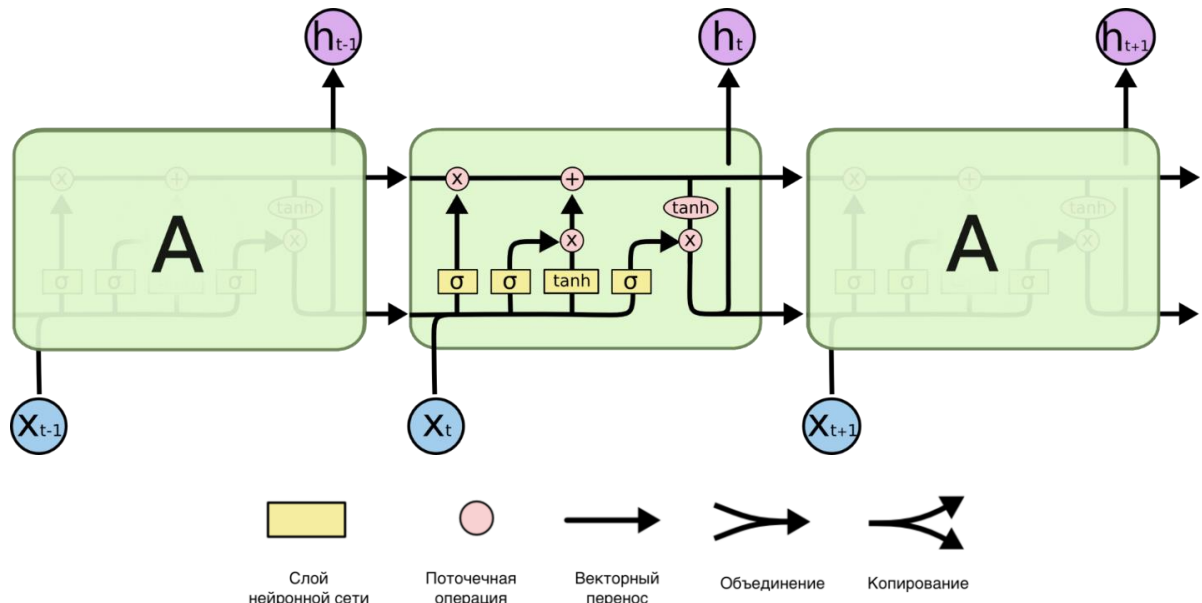


Рисунок 23 – Схема ячейки LSTM

Фильтры представляют собой сигмоидальные слои (формулы (6), (7) и (10)). Они вычисляют взвешенную сумму элементов конкатенации предыдущего выходного значения h_{t-1} и текущего входного значения x_t со смещением, после передавая сумму сигмоидной функции активации. Первый слой – слой фильтра забывания – определяет веса f_t для каждого числа из вектора состояния C_{t-1} и выражается формулой (6):

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f), \quad (6)$$

Учитывая предыдущее выходное значение h_{t-1} и текущее входное значение x_t , он возвращает вектор значений от 0 до 1 f_t , где 0 – «забыть» элемент состояния, 1 – «сохранить».

Затем определяется слой входного фильтра, определяющий веса i_t для каждого числа из \tilde{C}_t – значения-кандидаты, которое можно добавить в состояние ячейки. Они вычисляются по формулам (7) и (8):

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i), \quad (7)$$

$$\tilde{C}_t = \sigma(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + \tilde{b}_C). \quad (8)$$

Далее происходит обновление состояния C_{t-1} на C_t по формуле (9):

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t. \quad (9)$$

В конце происходит генерация выходных данных h_t из текущего состояния C_t с применением фильтра по формуле (10):

$$\begin{aligned} o_t &= \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o), \\ h_t &= o_t \cdot \tanh(C_t). \end{aligned} \quad (10)$$

Сеть LSTM позволяет предсказывать значения нелинейными преобразованиями имеющихся значений временного ряда. Причем за счет вычисления вектора состояния в преобразованиях могут участвовать не только ближайшие предыдущие значения, но и значения в более ранние моменты времени.

2.3 Применение нейросетей в прогнозировании котировок

Оценка текущего направления, динамики и скорости изменения цены на фондовом рынке и точность её прогноза находится в прямой зависимости от применяемого метода. При этом, чем больше индикаторов и визуальных паттернов будет рассчитано и трактовано, тем выше становится объективность и качество прогноза. Однако на практике ограниченные временные ресурсы участников торгов, особенно ориентированных на массовые краткосрочные операции, не позволяют провести быстрый анализ всех визуальных и математических показателей и выявить долгосрочную закономерность движения котировок. Поэтому с целью формирования высококоррелябельного инвестиционного портфеля ценных бумаг за счет качественного и быстрого комплексного анализа, учитывающего все факторы и индикаторы, актуальным представляется обучение нейронной сети на основе большого объема исторических данных цен.

Использование нейросетевой модели прогноза в трейдинге предполагает следующие этапы, представленные на рисунке 24.

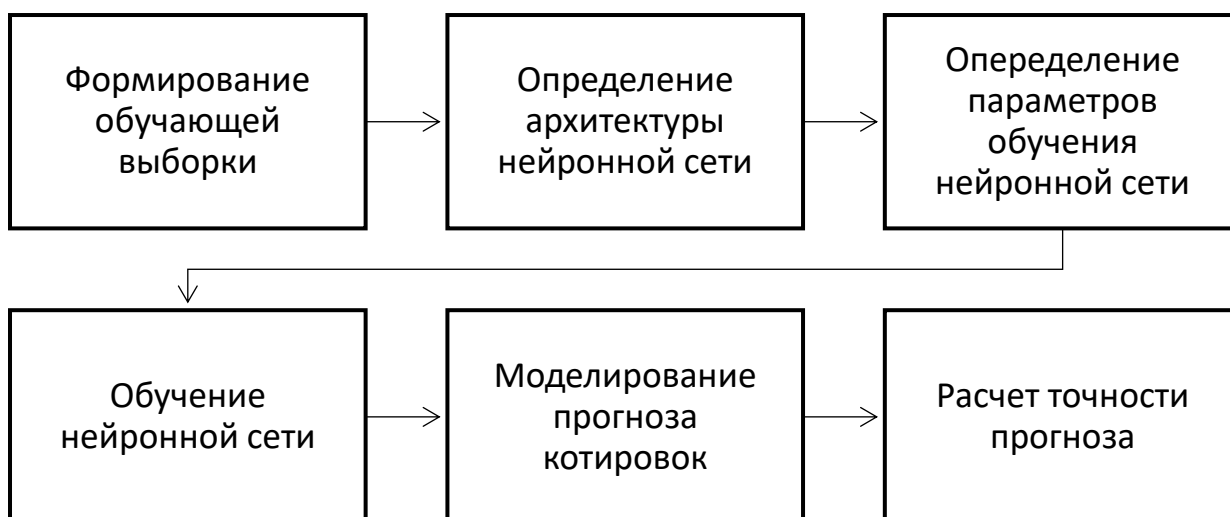


Рисунок 24 – Алгоритм построения нейросетевой модели прогноза котировок

Формирование обучающей выборки. В процессе самообучения перед нейросетью стоит задача обнаружения скрытых закономерностей в исходных данных и их применение в дальнейшем прогнозе. В техническом анализе объектом является только один показатель – исторические данные котировок за выбранный период, на основании которого рассчитывается множество индикаторов, подающих сигналы о движении цены. Таким образом основной задачей формирования обучающей выборки является выявление контрольных наборов, последовательность которых будут служить ориентиром для поиска закономерностей прогнозирования при обучении нейросети.

Входные данные для нейросети, помимо значений котировок ценных бумаг могут включать в себя информацию о периоде анализа сведений о ценах, коэффициенты корреляции между значениями цен. Для более широкого и сложного фундаментального анализа, в качестве входных данных может использоваться другая, неэкономическая информация.

Обучающие наборы подаются на вход, нейросеть их рассчитывает, а затем полученные выходные значения сравниваются с исходными примерами. В результате проведенного контроля анализируется качество обучения – чем меньше разница между выходными и входными данными, тем выше точность прогноза. Еще одним критерием оценки является полнота представления будущего рынка.

Следующим этапом является определение архитектуры нейронной сети по таким параметрам как:

- количество входов;
- количество выходов;
- число слоев;
- количество нейронов на каждом слое.

В нейронных сетях нет четкого понятия количества необходимого слоев. В каждом случае использование слоев регулируется задачей, поставленной перед программой. Каждый следующий слой составляет 60% от предыдущего слоя, что дает нам понимание структуры нейронной сети. И на основании

этого трейдер идентифицирует параметры обучения. Основными из них являются:

- максимальная ошибка обучения;
- число эпох обучения.

Обучающая выборка просматривается нейронной сетью в определенном порядке. Порядок просмотра может быть случайным либо последовательным.

Анализируя в совокупности два этих показателя, трейдер имеет возможность понять, насколько точен прогноз [11].

3 Программная реализация системы

Для прогнозирования движения цен финансовых инструментов были применены различные нейросетевые модели, основанные как на классической модели типа многослойный персептрон, так и на сетях типа LSTM, которые на основе обучающей последовательности свечных графиков биржевых котировок вычисляют направление движения цены в следующем отрезке времени. В результате своей работы нейронная сеть выдает совет, покупать, продавать ценную бумагу, или не предпринимать с ней никаких действий.

Программа состоит из двух частей: клиентская (интерфейс) и серверная (нейронная сеть). При разработке клиента был использован язык программирования C# и библиотека Windows Forms. Сервер разработан на языке программирования Python с использованием библиотек для машинного обучения Tensorflow и Keras.

Язык Python является интерпретируемым языком программирования с динамической типизацией, поддерживающий процедурное, объектно-ориентированное, функциональное и другие парадигмы программирования. Преимуществом Python является наличие интерпретаторов для большинства операционных систем, а также богатая стандартная библиотека и обширный набор загружаемых библиотек. Благодаря библиотекам numpy, pandas, scipy Python получил широкое распространение в области анализа данных. Большой популярностью среди разработчиков пользуются и библиотеки Keras, выступающая как надстройка Tensorflow. Они позволяют строить модели машинного обучения любой сложности и поддерживают распределенное обучение и работу с графическими процессорами.

C# – это объектно-ориентированный язык программирования, разработанный компанией Microsoft, используемый для создания приложений для операционной системы Windows, а также для веб-разработки и разработки мобильных приложений. Стандартный набор библиотек, который при необходимости дополнить сторонними пакетами, предоставляет множество

инструментов для разработки приложений на платформе .NET. Язык интегрирован в среду разработки Visual Studio, что в связке с библиотекой Windows Forms позволяет удобно и эффективно разрабатывать графические приложения.

3.1 Описание набора данных

В своей работе программа использует исторические данные цен на финансовые инструменты за некоторый промежуток времени, значения которых представлены четырьмя составляющими японской свечи. В работе рассматриваются ценные бумаги Московской биржи.

Входные данные для работы нейронной сети выгружаются из файла в формате CSV. Файл должен содержать данные о цене открытия, закрытия, максимума и минимума. При формировании файла могут быть использованы данные с портала Московской биржи, ресурса Финам.ру, либо сбор записей исторических данных, полученных через API-интерфейс торгового терминала Smartcom. Для прогноза новых данных в заранее обученной модели в разработанной системе возможна как загрузка этого же или другого файла CSV, так и получение их из торгового терминала Smartcom.

3.2 Серверная часть

Серверная часть приложения отвечает за работу нейронных сетей и предоставление результатов их работы.

Запуск сервера осуществляется, когда клиент отправляет системе команду на запуск скрипта в файле DataReading.py. Данный скрипт с помощью сокета подключается к клиенту и принимает от него данные о свечах в формате JSON. В зависимости от значения флага Training, переданного клиентом вместе со значениями, скрипт запускает обучение, если Training равен true, или вычисление совета в противном случае.

3.3 Нейронная сеть

Перед обучением нейронной сети осуществляется предобработка полученного списка свечей и формирование обучающей выборки. Это выполняется в функции `make_dataset`. В ней для каждой свечи выполняется формирование массива из 10 предыдущих свечей и их нормализация путем вычитания цены открытия из каждого элемента.

Далее для пометки обучающих данных рассчитывается разброс – разница цены открытия первой свечи матрицы и закрытия последней свечи матрицы.

Затем для массива формируется совет – выходные данные, которые должна давать нейросеть.

Совет представляет собой закодированные в прямом унитарном коде 3 варианта действий:

– (1,0,0) – продать бумагу (если в реальной ситуации цена снизилась более чем на 5 процентов от разницы цены открытия первой свечи в серии и цены закрытия последней);

– (0,1,0) – бездействие (если в реальной ситуации цена изменилась не более чем на 5 процентов);

– (0,0,1) – покупать бумагу (если в реальной ситуации цена выросла более чем на 5 процентов).

Таким образом, один пример для нейросети представляет собой матрицу с 10 свечами по 4 значения цены (открытие, максимум, минимум, закрытие) для входа нейросети и вектор из 3 цифр с кодом совета из множества {100, 010, 001} для выхода.

После того, как входные и выходные данные сформированы, выполняется их разделение на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70% и 30% соответственно.

Далее происходит обучение модели, и после ее обучения модель проходит оценку на тестовых значениях.

В данной работе рассмотрены две модели, основанные на двух видах нейросетей: многослойный перцептрон и сеть типа LSTM.

Сеть со слоями типа многослойный перцептрон имеет следующую архитектуру:

1) выравнивающий слой, преобразующий матрицу 10×4 в одномерный массив длины 40;

2) 4 внутренних слоя с размерами 200, 120, 50, 24, 12, 6 с функцией активации SymLeakyReLU (симметричный линейный выпрямитель с утечкой, рис. 25);

3) выходной слой с функцией активации Softmax для получения вероятности соответствия серии свечей одному из 3 советов.

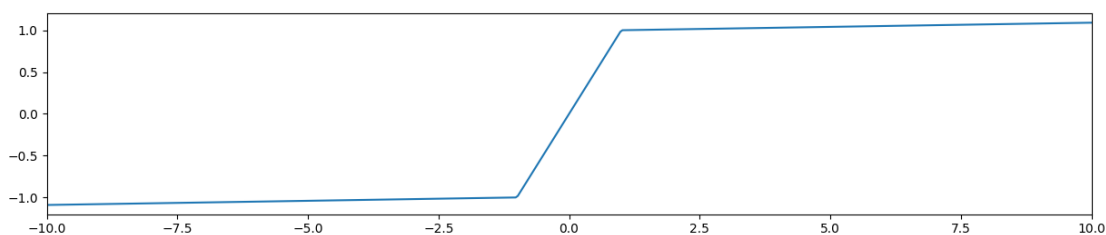


Рисунок 25 – График функции SymLeakyReLU

Обучение сети выполняется с использованием функции потерь Кросс-энтропия и оптимизатора Адаптивная оценка момента (Adam). Число эпох составляет 70, однако оно может быть меньше за счет триггера, который завершает обучение, когда функция потерь перестает уменьшаться более 5 раз.

Результаты работы нейросети представлен на рисунке 26. Обучение проводилось на графике фьючерса на индекс РТС (срок обращения до 15.06.2023), как инструмента с высокой ликвидностью и волатильностью, с величиной таймфрейма 15 минут. Для обучения были взяты данные с 3 января 2023 г. по 24 апреля 2023 г. Объем обучающей выборки составил 3808 значений, проверочной – 1664 значения.

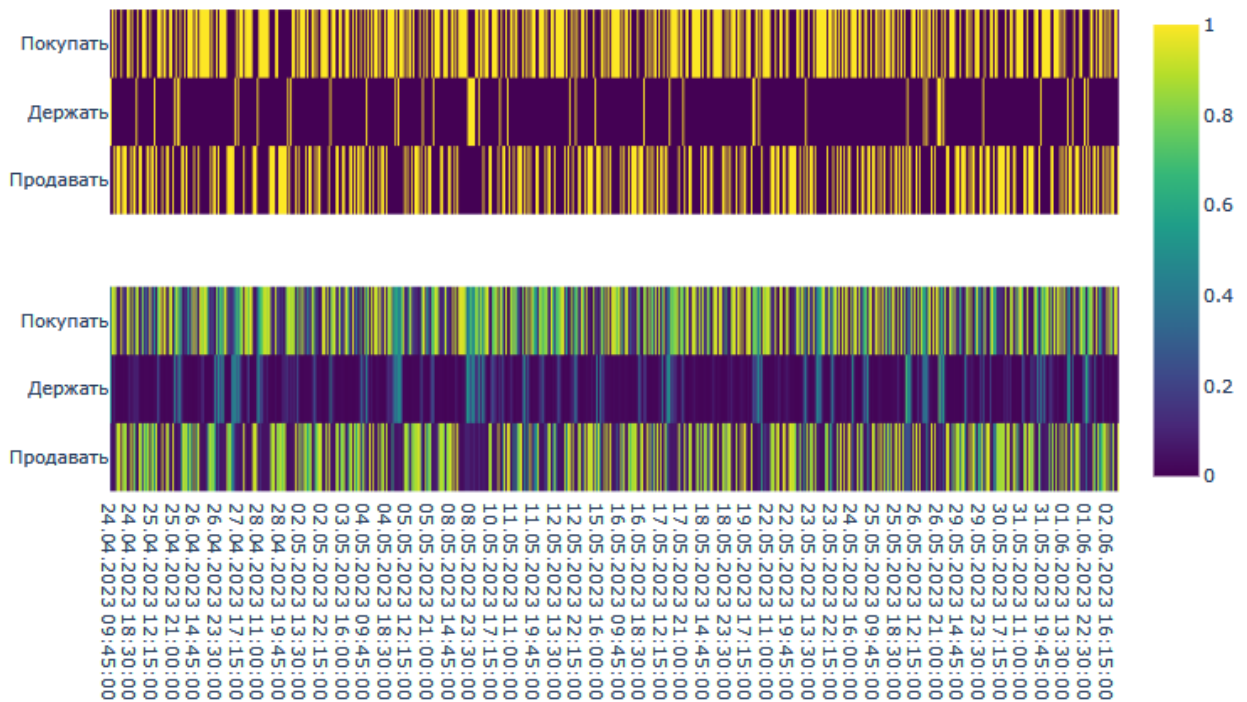


Рисунок 26 – Результат работы сети типа многослойный персептрон (точность – 0,8)

Матрица ошибок для нейронной сети представлена на рисунке 27:

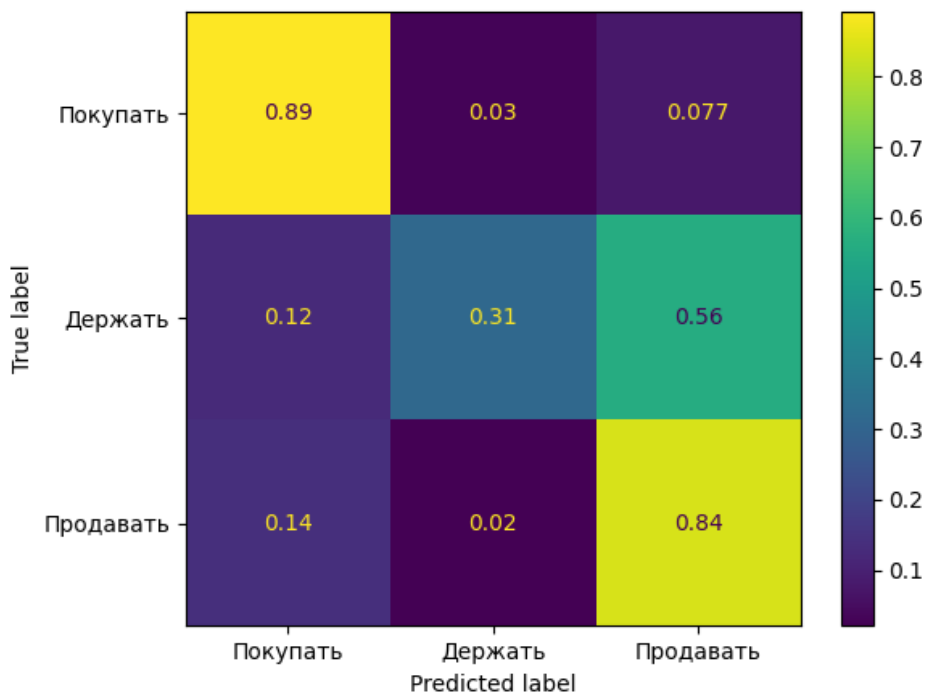


Рисунок 27 – Матрица ошибок сети типа многослойный персептрон

Помимо нейронной сети типа многослойный перцептрон, была рассмотрена и использована в приложении нейронная сеть на основе слоев с долгой краткосрочной памятью (LSTM).

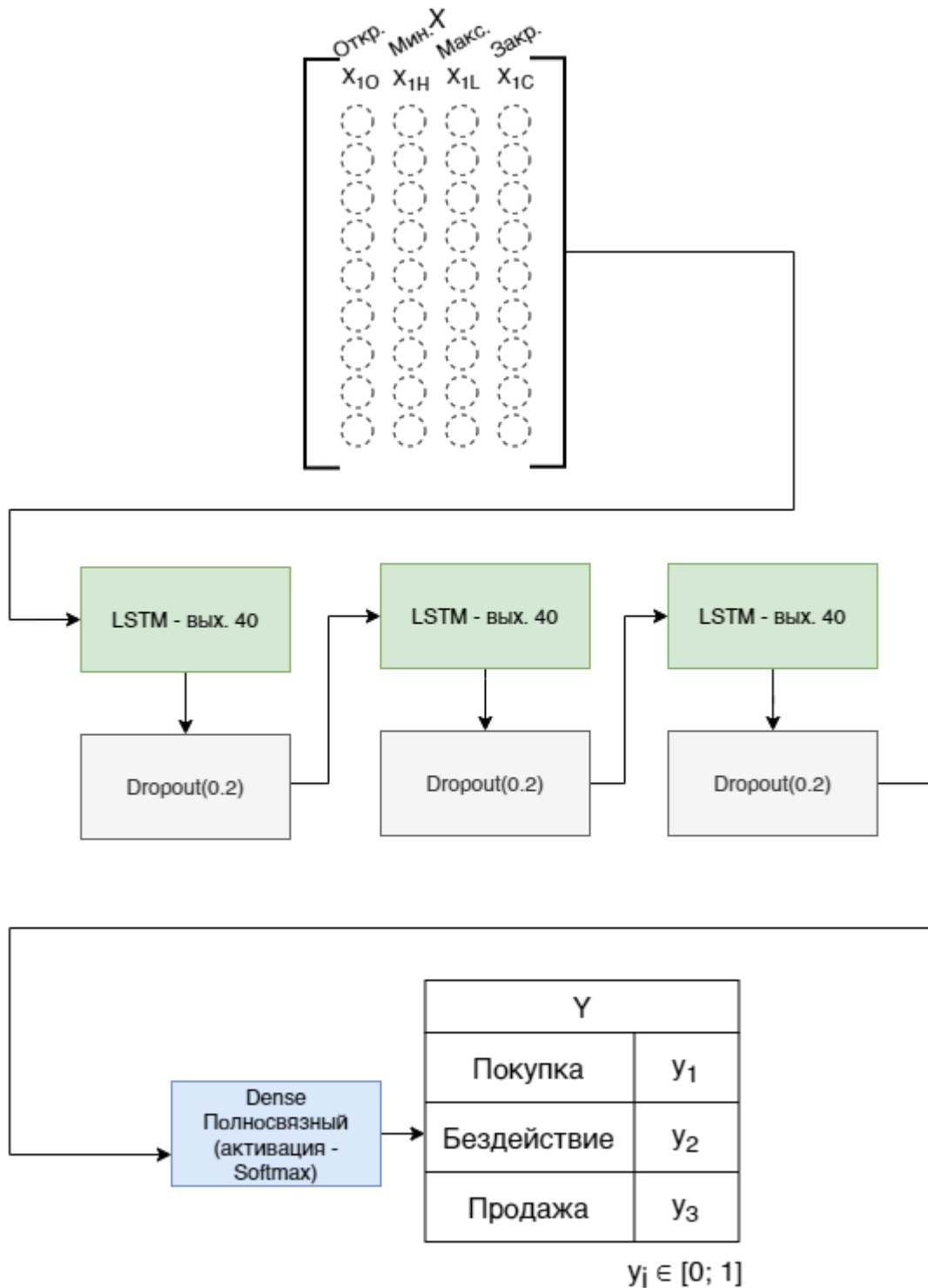


Рисунок 28 – Архитектура нейросети со слоями LSTM

Архитектура нейронной сети представлена на рисунке 28. В ее состав входят:

- 1) 3 слоя типа LSTM с размерностью выходного вектора 40 с отбрасыванием 20 процентов выходных слоев в избежание переобучения;
- 2) выходной полносвязный слой с функцией активации Softmax.

Обучение сети выполняется с использованием функции потерь Кросс-энтропия и оптимизатора Адаптивная оценка момента (Adam). Число эпох определяется по триггеру, который завершает обучение, когда функция потерь перестает уменьшаться более 3 раз, обычно это происходит после 50–55 эпох.

После работы нейронная сеть со слоями LSTM

Результаты работы нейронная сеть со слоями LSTM представлены на рисунке 29. Точность вычисления ответов составляет 83%.

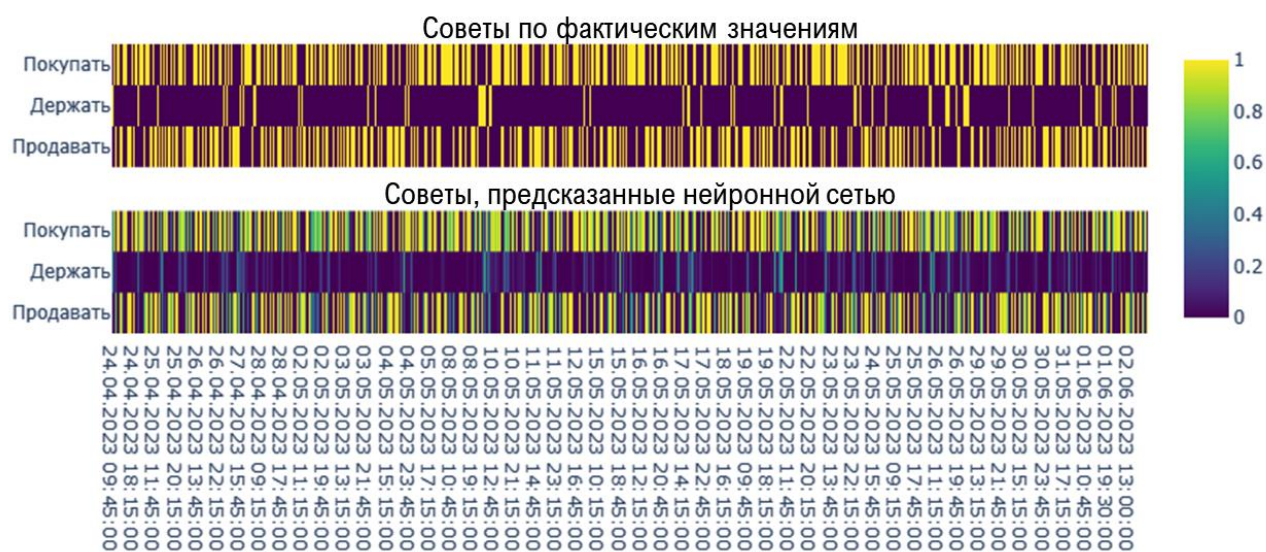


Рисунок 29 – Результат работы сети со слоями LSTM

Матрица ошибок вышеуказанного расчета представлена на рисунке 30:

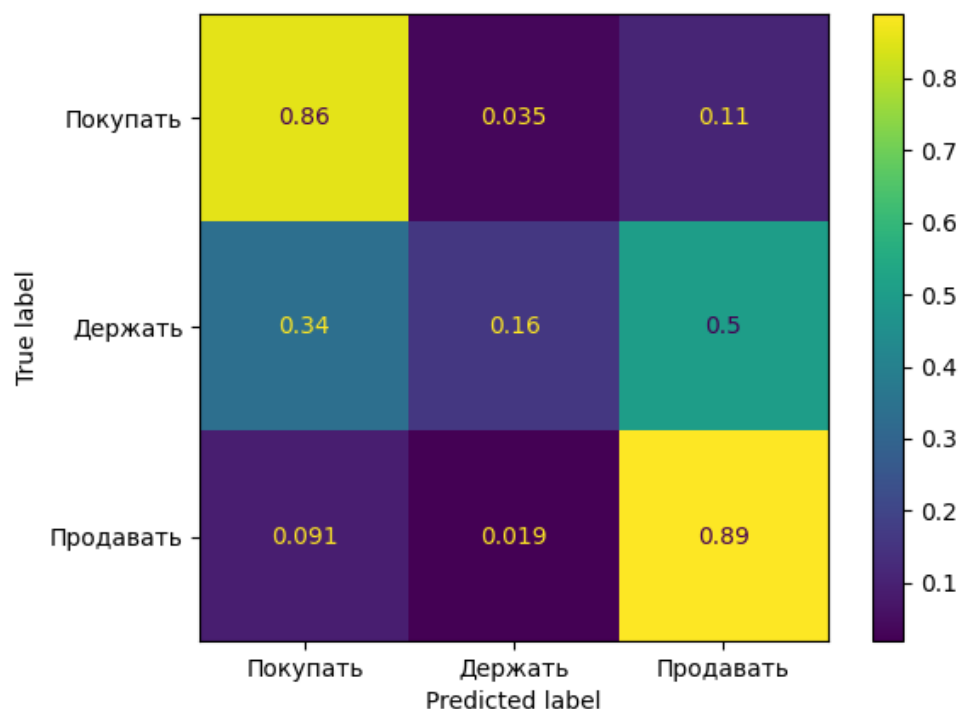


Рисунок 30 – матрица ошибок сети со слоями LSTM

Точность обеих сетей одинакова, однако сети со слоями LSTM более универсальна для работы с различными графиками котировок, тогда как в случае с сетью типа многослойный персептрон точность прогноза может уменьшиться, хотя скорость ее обучения выше не менее чем в 2 раза.

3.4 Клиентская часть

Основные действия пользователя осуществляются в клиентской части. Клиент предоставляет интерфейс для формирования запроса к серверу. В задачи клиента входит загрузка файла с показателями биржевых свечей и подготовка данных для передачи серверу (рис. 31).

Клиентская часть поддерживает два варианта использования: обучение и вычисление советов по заранее обученной модели. Входные данные могут загружаться из двух источников: из терминала Smartcom и из CSV-файла.

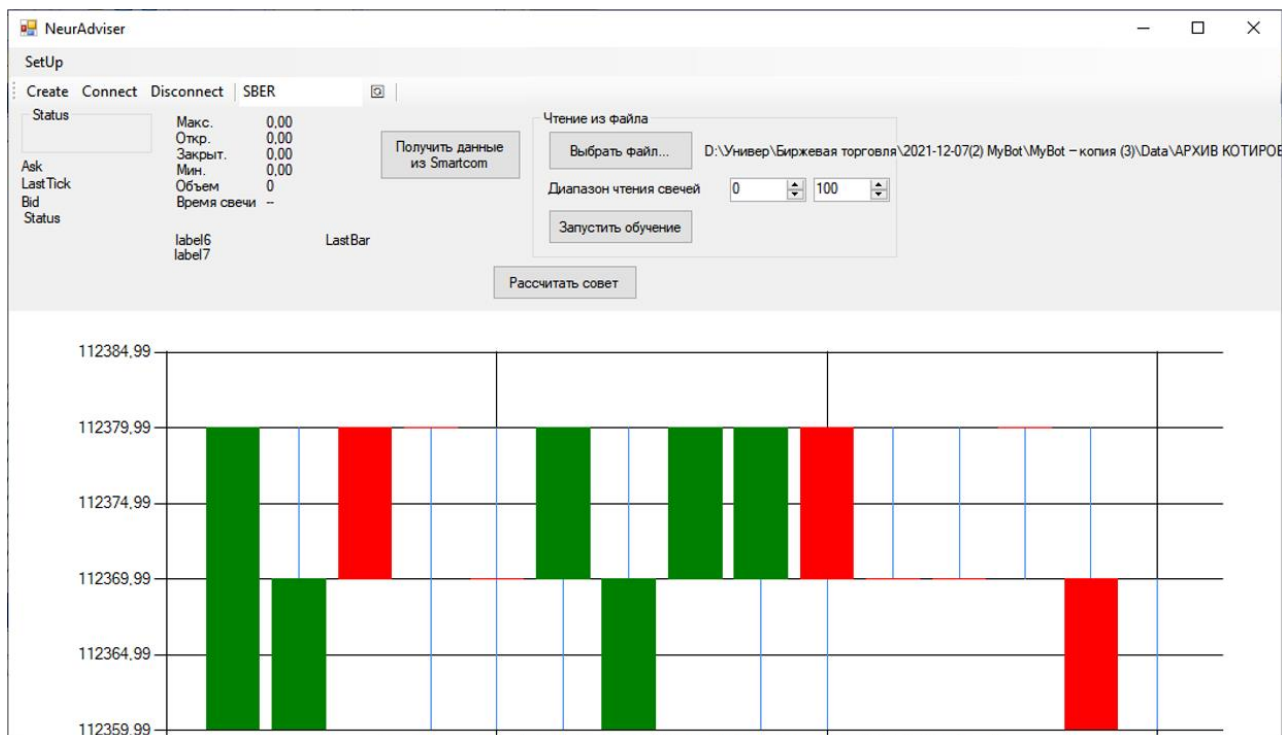


Рисунок 31 – Интерфейс клиентского приложения

По кнопке «Выбрать файл...» открывается диалоговое окно выбора файлов. После того, как файл выбран, пользователь определяет диапазон чтения свечей из файла, например, с 500-й строки по 700-ю.

Далее пользователь выбирает либо запуск обучения нейронной сети по кнопке «Запустить обучение», либо расчет совета по кнопке «Рассчитать совет».

Приложение начинает считывать данные из CSV-файла и преобразовывает их в формат JSON, добавляя для сервера служебную и справочную информацию:

- шаг цены, который считывается для выбранного инструмента из xml-справочника, хранящегося вместе с клиентом;
- флаг Training, говорящий серверу, запускать создание и обучение новой модели для инструмента или загрузку имеющейся.

При выборе запуска обучения модель нейронной сети сохранится для соответствующего инструмента и архитектуры нейронной сети, и в

дальнейшем новые свечи можно будет запускать, загрузив ранее сохраненную модель.

После подготовки информации клиент запускает скрипт сервера и с помощью сокетов передает данные. Далее в отдельном окне запускается сервер, и работа продолжается на его стороне.

По завершении работы сервера пользователю в браузере открывается график с советом, рассчитанным на основании вывода нейронной сети по формуле (11):

$$y_{\text{совет}} = -1 \cdot y_{\text{продажа}} + 0 \cdot y_{\text{бездействие}} + 1 \cdot y_{\text{покупка}} \quad (11)$$

Как видно на графике (рис. 32), программа отправила последовательность свечей нейросети и от нее был получен ответ о необходимости покупать фьючерс.

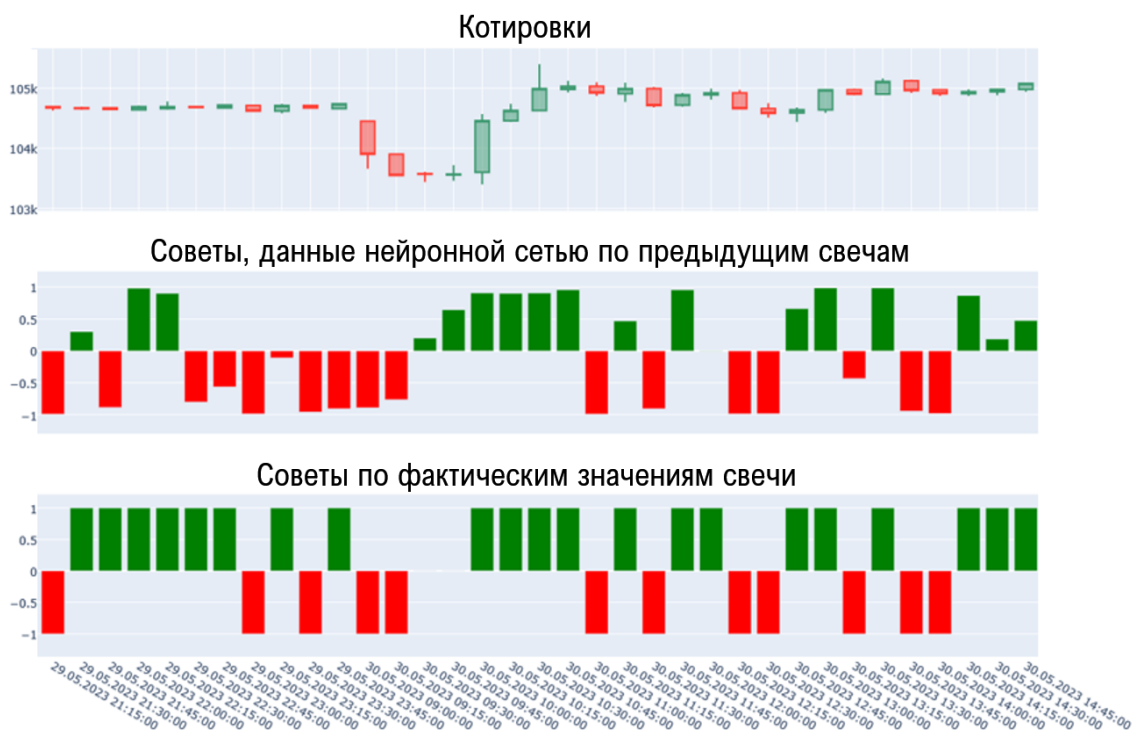


Рисунок 32 – Результаты работы программы на графике фьючерса на индекс РТС (RTS-6.23)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере развития информационных технологий возрастает потребность в упрощении деятельности человека и повышении производительности труда. Разработка системы прогнозирования движения цен биржевых котировок призвана решить эту проблему в работе трейдеров.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- рассмотрены подходы к анализу свечных моделей;
- построена оптимальная модель нейронной сети для классификации комбинаций японских свечей;
- разработана программа по прогнозированию котировок на фондовом рынке.

Таким образом, достигнута цель данной работы по прогнозированию поведения цен с помощью классификации свечных моделей и выполнены поставленные задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Алтунина, Т. М. Основы технического анализа финансовых рынков: учебное пособие / Т. М. Алтунина; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 163 с. – URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/82488> (дата обращения: 23.05.2023). – ISBN: 978-5-7996-2953-3.
- 2 Чижик, В. П. Сравнительная характеристика методов фундаментального и технического анализа финансовых активов / В. П. Чижик // Сибирский торгово-экономический журнал. – 2013. – №1 (7). – С. 49–55.
- 3 Тихонов, Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие / Э. Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006. – 221 с. – URL: http://www.mirkin.ru/_docs/tiho.pdf (дата обращения: 25.05.2023).
- 4 Моррис, Г. Японские свечи: метод анализа акций и фьючерсов, проверенный временем: перевод с английского / Г. Моррис. – 3-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс: Инвестиционная группа ИстКоммерц, 2008. – 311 с. – ISBN 978-5-9614-0785-3.
- 5 Обзор на торговую платформу Metatrader 5 // CSCALP: сайт. – 2023. URL: <https://fsr-develop.ru/metatrader> (дата обращения: 23.05.2023).
- 6 TradingView против MT4 (MetaTrader 4): какая платформа лучше? // GetAnInfo: [сайт]. – 2023. URL: <https://www.getaninfo.com/ru/tradingview-vs-mt4/> (дата обращения: 23.05.2023).
- 7 Сравнение биржевых торговых платформ. Atas против Metatrader // Atas: [сайт]. – 2023. URL: <https://atas.net/ru/vozmojnosti-atas/grafiki/sravnenie-birzhevykh-torgovykh-platform/> (дата обращения: 23.05.2023).
- 8 Nwankpa C. Activation functions: Comparison of trends in practice and research for deep learning / Ijomah W., Gachagan A., Marshall S. // arXiv preprint arXiv:1811.03378. – 2018. – (Engl.). – URL: <https://arxiv.org/pdf/1811.03378v1.pdf> [8 November 2018] (дата обращения 20.05.2023).

9 Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с. – ISBN: 978-5-4461-1909-7.

10 Christopher Olah. Understanding LSTM Networks: [сайт]. – 2023. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (дата обращения 24.05.2023).

11 Бугорский В. Н. Использование нейронных сетей в работе трейдера / В. Н. Бугорский, А. Г. Сергиенко // Прикладная информатика. – 2011. – Т. 6, № 1 (31). – С. 17-28.