

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт радиоэлектроники и информационных технологий - РТФ
Базовая кафедра «Аналитика больших данных и методы видеоанализа»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК

/ Зав. кафедрой «АБД и МВ»

_____ М.А. Медведева

02.06.2023 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

«Разработка торговой стратегии криптовалют для определения точек входа и
выхода из торговых позиций на основе алгоритмов машинного обучения»

Научный руководитель: Медведев А.Н.
старший научный сотрудник, к.т.н., доцент

Научный руководитель: Медведева М.А.
доцент, к.ф.-м.н., доцент

Студент группы РИМ-210981 Першин А.Д.

Екатеринбург
2023

РЕФЕРАТ

Тема магистерской диссертации:

«Разработка торговой стратегии криптовалют для определения точек входа и выхода из торговых позиций на основе алгоритмов машинного обучения»

Магистерская диссертация выполнена на 93 страницах, содержит 2 таблицы, 35 рисунков, 90 использованных источников.

Актуальность темы диссертационной работы: необходимость использования информационных технологий, в том числе алгоритмов машинного обучения для автоматизации бизнес-процессов, позволяющих повысить конкурентоспособность в области торговли криптовалют.

Цель работы: разработать торговую стратегию для определения точек входа и выхода из торговых позиций на основе алгоритмов машинного обучения для повышения эффективности процесса принятия торговых решений.

Для выполнения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- провести анализ предметной области, провести обоснование актуальности и релевантности выбранной темы, выявить недочеты изученных исследований, провести патентный анализ;
- охарактеризовать понятия криптовалюта (рынок криптовалют), торговый робот, технические индикаторы для торговли криптовалютой, индикаторы страха и жадности;
- определить наиболее эффективные программные средства для разработки торговой стратегии;
- проанализировать существующие методы машинного обучения в стратегиях торговли;

- разработать торговую стратегию на основе алгоритмов машинного обучения, а также, разработать Telegram-бота как приложение, которое реализует стратегию;
- произвести оценку экономической эффективности

Объектом исследования выступают методы и алгоритмы машинного обучения, и их применение в задачах прогнозирования временных рядов и анализа текста.

Предметом исследования является разработка стратегии прогнозирования точек входа и выхода из торговых позиций на рынке криптовалют и MVP приложения, реализующего стратегию.

Научная новизна проекта заключается в том, что в работе предлагается торговая стратегия для определения точек входа и выхода из торговых позиций, способная повысить эффективность современных видов торговли на рынке криптовалют.

Практическая значимость заключается в том, что применение методов и алгоритмов машинного обучения для создания торговой стратегии для определения точек входа и выхода из торговой позиции, повысит эффективность процесса торговли, а также, ускорит процесс сбора и обработки аналитических данных для технического анализа рынка.

Экономическая эффективность проекта определяется тем, что предлагаемое приложение, реализующее торговую стратегию, автоматизирует бизнес-процессы и увеличит торговую эффективность, тем самым увеличив ежемесячную прибыль компании.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕДСКАЗАНИЯ ЦЕН КРИПТОВАЛЮТ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	8
1.1. Общие понятия и особенности криптовалют и криптовалютных рынков 8	
1.2. Анализ области применения машинного обучения для предсказания цен криптовалют	19
1.3. Обзор и анализ и инструментальных средств для разработки	27
1.4. Результаты и выводы первой главы	42
2. АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА И АЛГОРИТМ ТОРГОВОЙ СТРАТЕГИИ	44
2.1. Разработка алгоритма торговой стратегии	44
2.2. Python как средство разработки торговой стратегии на основе алгоритмов машинного обучения	46
2.3. Описание деятельности криптовалютной биржи.....	49
2.4. Описание бизнес-процесса AS-IS	56
2.5. Результаты и вывода второй главы.....	59
3. РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО ТОРГОВУЮ СТРАТЕГИЮ.....	60
3.1. Описание бизнес-процесса TO-BE	60
3.2. Разработка приложения, реализующего торговую стратегию на основе алгоритмов машинного обучения	61
3.3. Оценка экономической эффективности разработанного программного обеспечения	75
3.4. Результаты и выводы третьей главы	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	80

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время криптовалюты стали важной частью финансовой системы, привлекая все большее внимание со стороны инвесторов и трейдеров. Однако, несмотря на потенциально высокую прибыльность, торговля криптовалютами также является высокорискованным видом инвестирования, где успешность зависит от многих факторов, включая быстроту реакции на изменения рынка и умение предугадывать будущие тренды.

В данном контексте разработка эффективной торговой стратегии на основе алгоритмов машинного обучения может стать ключевым фактором успеха. Это связано с тем, что машинное обучение позволяет автоматизировать процесс анализа больших объемов данных, формировать точные прогнозы, а также быстро реагировать на изменения рынка.

Автоматизация бизнеса относится к использованию технологий и программного обеспечения для автоматизации рутинных и повторяющихся задач в бизнесе, уменьшая потребность в ручном труде и повышая эффективность [82].

К основным задачам автоматизации информационных процессов относятся [82]:

- снижение трудозатрат путем устранения или оптимизации рутинных операций;
- автоматизация процесса обработки информации и процесса статистического анализа, повышающих эффективность работ;
- эффективное использование информационных ресурсов и их организация при использовании информационных технологий.

Цель работы: разработать торговую стратегию для определения точек входа и выхода из торговых позиций на основе алгоритмов машинного

обучения для повышения эффективности процесса принятия торговых решений.

Для выполнения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- провести анализ предметной области, провести обоснование актуальности и релевантности выбранной темы, выявить недочеты изученных исследований, провести патентный анализ;
- охарактеризовать понятия криптовалюта (рынок криптовалют), торговый робот, технические индикаторы для торговли криптовалютой, индикаторы страха и жадности;
- определить наиболее эффективные программные средства для разработки торговой стратегии;
- проанализировать существующие методы машинного обучения в стратегиях торговли;
- разработать торговую стратегию на основе алгоритмов машинного обучения, а также, разработать Telegram-бота как приложение, которое реализует стратегию;
- произвести оценку экономической эффективности.

Объектом исследования выступают методы и алгоритмы машинного обучения и их применение в задачах прогнозирования временных рядов и анализа текста.

Предметом исследования является разработка стратегии прогнозирования точек входа и выхода из торговых позиций на рынке криптовалют и MVP приложения, реализующего стратегию.

Инструментарием для выполнения данной работы послужили такие программные продукты, как:

- Microsoft Word;

- Microsoft PowerPoint;
- Microsoft Excel;
- Язык программирования Python3;
- ARIS Express 2.4b.

Практическая значимость заключается в том, что применение методов и алгоритмов машинного обучения для создания торговой стратегии для определения точек входа и выхода из торговой позиции, повысит эффективность процесса торговли, а также, ускорит процесс сбора и обработки аналитических данных для технического анализа рынка.

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕДСКАЗАНИЯ ЦЕН КРИПТОВАЛЮТ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

1.1. Общие понятия и особенности криптовалют и криптовалютных рынков

Криптовалюта — это цифровая или виртуальная валюта, которая использует криптографию для обеспечения безопасности и работает независимо от центрального банка [18]. Криптовалюты децентрализованы, то есть они не контролируются каким-либо правительством или финансовым учреждением. Вместо этого они основаны на технологии блокчейна, которая представляет собой распределенный реестр, который записывает все транзакции и обеспечивает их действительность.

Самая известная криптовалюта — биткойн, но есть и много других, таких как: «Ethereum», «Litecoin» и «Ripple». Криптовалюты можно покупать и продавать на биржах криптовалют, а также использовать их для покупки товаров и услуг в Интернете [19].

На рынке криптовалют торгуют цифровыми активами, которые зашифрованы с использованием криптографии и функционируют на базе технологии блокчейн. Среди криптовалют можно выделить такие популярные как Биткойн (BTC), Эфириум (ETH), Биткойн Кэш (BCH), Рипл (XRP) и Лайткойн (LTC). Кроме того, на рынке криптовалют также торгуются токены, выпущенные компаниями в рамках ICO или IEO, а также стейблкоины, которые привязаны к фиатным валютам для минимизации волатильности. Также набирает популярность торговля децентрализованными финансами (DeFi), основанными на блокчейне Ethereum [19].

Одной из ключевых особенностей криптовалюты является ее анонимность. Транзакции записываются в блокчейн, но личность человека, совершающего транзакцию, не раскрывается. Это делает криптовалюту

привлекательной для людей, которые хотят сохранить конфиденциальность своих финансовых транзакций.

Технология блокчейна представляет собой децентрализованную цифровую книгу, которая записывает транзакции безопасным и прозрачным образом [21]. По сути, это база данных, которая поддерживается сетью компьютеров, а не одним объектом, что делает ее устойчивой к взлому или взлому. Одной из ключевых особенностей является его прозрачность. Каждая транзакция записывается и проверяется сетью, и после добавления в блокчейн ее нельзя изменить или удалить [22]. Это делает его идеальным инструментом для создания доверия в ситуациях, когда необходимо участие нескольких сторон, таких как управление цепочками поставок или системы голосования.

Еще одной важной особенностью криптовалюты является ее безопасность. Использование криптографии очень затрудняет хакерам кражу или манипулирование транзакциями. Однако криптовалютные биржи и кошельки по-прежнему могут быть уязвимы для кибератак, поэтому важно принимать меры предосторожности для защиты ваших цифровых активов.

В целом, концепция криптовалюты представляет собой новый способ мышления о деньгах и финансах. Он может разрушить традиционные банковские системы и предоставить большую финансовую свободу людям во всем мире.

Говоря про рынок криптовалют — это цифровой рынок, на котором можно покупать и продавать криптовалюты. Он работает аналогично традиционным финансовым рынкам, где цены определяются спросом и предложением.

Рынок децентрализован, то есть нет центрального органа, контролирующего его. Вместо этого он состоит из сети покупателей и продавцов, которые обмениваются криптовалютами через различные платформы, такие как криптовалютные биржи [20].

Стоимость криптовалют может быть неустойчивой, при этом цены быстро колеблются в зависимости от множества факторов, таких как новостные события, изменения в законодательстве и настроения инвесторов. Эта волатильность может сделать инвестирование в криптовалюты рискованным, но также предоставляет возможности для получения прибыли.

Криптовалютный рынок все еще относительно новый и развивается: новые криптовалюты появляются, а существующие набирают или теряют популярность. Ожидается, что по мере взросления рынка он станет более стабильным и регулируемым, что может привлечь больше основных инвесторов.

Итого, рынок криптовалют представляет собой новый и инновационный способ инвестирования и торговли цифровыми активами. Несмотря на связанные с этим риски, он также предлагает потенциал для получения значительной прибыли и большей финансовой свободы.

1.1.1. Анализ и общие понятия торговой стратегии, технических индикаторов, индикаторов страха и жадности на рынке криптовалют

Торговая стратегия – это план действий, который определяет каким образом трейдинг-специалист будет осуществлять сделки на рынке [16]. Она может включать в себя различные правила и условия, которые определяют, когда нужно открывать или закрывать сделку, какую позицию занимать, как управлять рисками и так далее.

Торговая стратегия в виде информационной системы, в свою очередь, это конкретный программный алгоритм, который выполняет заданный набор действий на основе вышеописанных правил и условий [17]. Такие системы могут полностью автоматизировать процессы сбора и анализа данных, что позволяет значительно сократить время и усилия, затрачиваемые на торговлю. В зависимости от используемых технических индикаторов, временных

интервалов, стратегических целей и других параметров, стратегии могут быть очень разнообразными и приспособлены к различным рыночным условиям.

Технические индикаторы – это инструменты, используемые трейдерами для анализа рынка криптовалют и принятия обоснованных инвестиционных решений [11]. Эти индикаторы используют математические вычисления, основанные на прошлых данных о ценах и объемах, для определения тенденций и закономерностей на рынке.

Рассмотрим некоторые распространенные технические индикаторы, используемые на рынке криптовалют [12]:

- Скользящие средние. Скользящие средние отслеживают среднюю цену криптовалюты за определенный период времени.
- Индекс относительной силы (RSI). RSI измеряет силу тренда, сравнивая средние прибыли и убытки за определенный период.
- Полосы Боллинджера. Данный индикатор измеряет волатильность криптовалюты, откладывая два стандартных отклонения от скользящей средней. Это помогает трейдерам определить потенциальные прорывы или развороты цены.

Более подробно стоит остановиться на следующих технических индикаторах: ЕМА, MACD.

ЕМА (Экспоненциальное скользящее среднее) – это технический индикатор, используемый в финансовом анализе для определения тенденций в ценах [14]. Он рассчитывается путем получения средней цены актива за определенный период времени, при этом больший вес придается недавним ценам. ЕМА похожа на другие скользящие средние, но ее экспоненциальный вес придает большее значение недавним ценам, что делает ее более чувствительной к изменениям рыночных тенденций (рисунок 4).

ЕМА может быть рассчитана с использованием разных периодов времени, в зависимости от стратегии и целей трейдера. Более короткие периоды времени более чувствительны к изменениям цен и могут давать более

частые сигналы, в то время как более длительные периоды времени более стабильны и могут помочь определить долгосрочные тенденции.

ЕМА вычисляется по формуле:

$$\text{ЕМА} = \text{ЕМА}(k-1) + (2/(n+1)) * (P_k - \text{ЕМА}(k-1)), \quad (1)$$

где:

- $\text{ЕМА}(k-1)$ – предыдущее значение экспоненциальной скользящей средней;
- n – период скользящей средней;
- P_k — текущая цена.



Рисунок 4 – Общий вид технического индикатора ЕМА¹

MACD (схождение/расхождение скользящей средней) — это технический индикатор, используемый в финансовом анализе для определения изменений импульса, тренда и силы цены [15]. Он рассчитывается путем вычитания 26-периодной экспоненциальной скользящей средней (ЕМА) из 12-периодной ЕМА. Затем линия MACD наносится на график рядом с сигнальной линией, которая обычно представляет собой 9-периодную ЕМА линии MACD. Когда линия MACD пересекает сигнальную линию, это считается бычьим сигналом, указывающим на то, что цена может вырасти. И наоборот, когда линия MACD пересекает

¹ Составлено автором по [12]

сигнальную линию ниже, это считается медвежьим сигналом, указывающим на то, что цена может вот-вот упасть.

MACD вычисляется по формуле:

$$\text{MACD} = \text{EMAs}(P) - \text{EMAl}(P), \quad (2)$$

$$\text{MACD (Signal)} = \text{EMAa}(\text{EMAs}(P) - \text{EMAl}(P)), \quad (3)$$

где:

- EMAs – быстрая скользящая средняя с небольшим временным периодом (P) (по умолчанию период равен 12);
- EMAl – медленная скользящая средняя с большим временным периодом (P) (по умолчанию период равен 24);
- EMAa – сглаживающая скользящая средняя с маленьким периодом (P) (по умолчанию период равен 9);

Для расчета используются три экспоненциальные скользящие средние с разными временными периодами. Из быстрой скользящей средней с меньшим периодом (EMAs) вычитается медленная скользящая средняя с большим периодом (EMAl). По полученным значениям строится линия MACD. Периоды по умолчанию выбираются 12 и 26. Далее полученная линия сглаживается третьей экспоненциальной скользящей средней (EMAa), с периодом 9 и получается, так называемая, сигнальная линия MACD (Signal). Получившиеся кривые представляют из себя линейный вид MACD (рисунок 5).

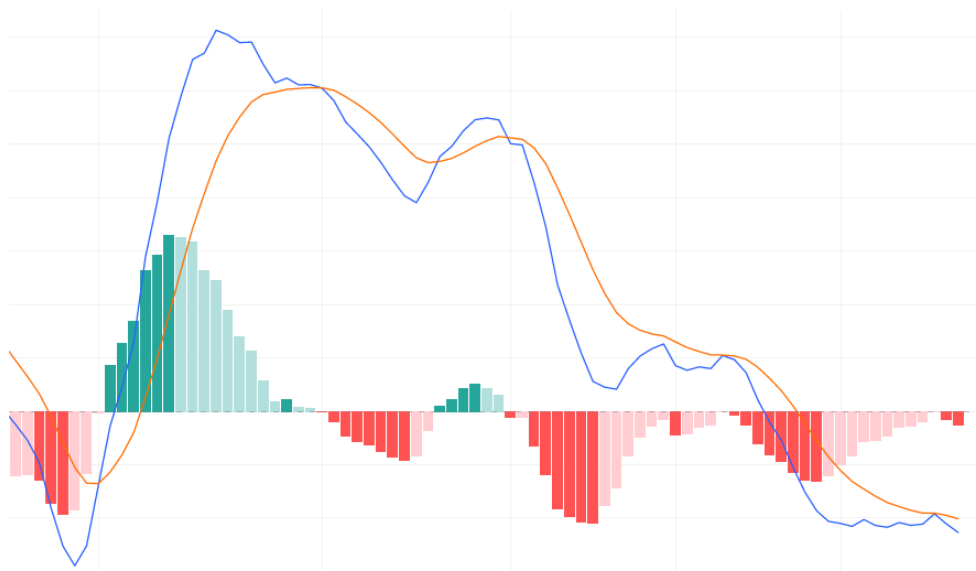


Рисунок 5 – Общий вид технического индикатора MACD²

Технические индикаторы можно использовать в сочетании с другими методами анализа, такими как фундаментальный анализ, чтобы получить более полное представление о рынке. Однако важно отметить, что технические индикаторы не являются надежными, и на них не следует полагаться исключительно при принятии инвестиционных решений.

Говоря про понятие индикаторов страха и жадности на рынке криптовалют, оно относится к эмоциональному состоянию инвесторов и трейдеров и тому, как оно влияет на рынок. Страх и жадность — две основные эмоции, которые могут управлять поведением на рынке [13]. Когда инвесторы напуганы, они, как правило, продают свои активы, что приводит к падению цен. С другой стороны, когда инвесторы жадные, они, как правило, покупают больше актива, что приводит к росту цен. Существуют различные технические индикаторы, которые можно использовать для измерения страха и жадности на рынке криптовалют, такие как индекс страха и жадности. Трейдеры могут использовать эти индикаторы для принятия обоснованных инвестиционных решений с учетом эмоционального состояния рынка.

² Составлено автором по [12]

Итого, существуют разные технические показатели, на основании которых трейдеры могут понять состояние рынка, что в итоге помогает при принятии инвестиционных решений.

1.1.2. Общие понятия, функции и особенности торговых роботов

Торговые роботы – представляют собой автоматизированные программы, которые используют алгоритмы для анализа рыночных данных и совершения сделок от имени пользователя.

Функции торгового робота [26]:

1) Анализ рынка.

Торговые роботы используют алгоритмы для анализа рыночных данных и выявления тенденций и закономерностей, которые можно использовать для принятия торговых решений.

2) Выполнение торговли.

После принятия торгового решения робот может автоматически выполнить сделку от имени пользователя.

3) Управление рисками.

Торговые роботы могут быть запрограммированы на управление рисками, устанавливая стоп-лосс ордера или другие стратегии управления рисками.

4) Управление портфелем.

Некоторые торговые роботы также могут помочь пользователям управлять своими криптовалютными портфелями, отслеживая эффективность и предлагая сделки на основе определенных пользователем критериев.

Роботы для торговли валютой подпадают под категорию финансовых технологий (финтех) и, в частности, алгоритмическую торговлю или

автоматизированные торговые системы. Предлагаю рассмотреть виды финансовых технологий на рисунке 6.

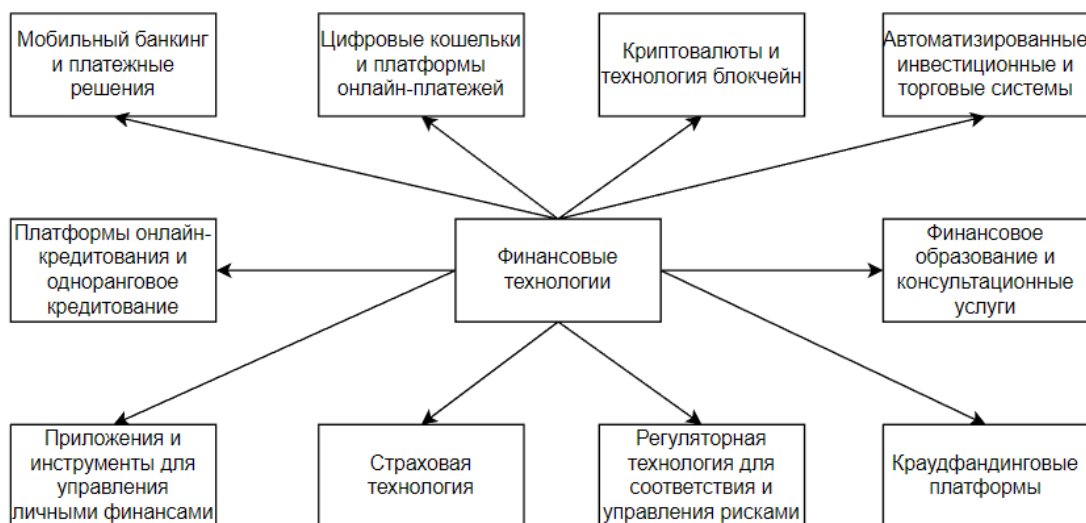


Рисунок 6 – Виды финансовых технологий³

На данный момент существуют несколько типов торговых роботов, в том числе [25]:

- Роботы, следующие за трендом. Такие роботы используют технический анализ для определения тенденций на рынке и совершения сделок на основе этих тенденций.
- Арбитражные роботы. Эти роботы используют разницу в ценах на разных биржах или рынках для совершения прибыльных сделок.
- Новостные роботы. В таком типе роботы используют алгоритмы обработки естественного языка для анализа новостных статей и каналов социальных сетей, чтобы совершать сделки на основе рыночных настроений.
- Роботы-скальперы. Эти роботы совершают большое количество мелких сделок за короткий промежуток времени, чтобы воспользоваться небольшими движениями цены.

³ Составлено автором по: [24]

- Высокочастотные торговые роботы. Этот тип роботов используют сложные алгоритмы для совершения сделок с молниеносной скоростью, используя в своих интересах небольшие расхождения цен между различными рынками или биржами.
- Сетчатые торговые роботы. Такие роботы используют сетку ордеров на покупку и продажу, чтобы воспользоваться движением цены на рынке, ограниченном диапазоном.
- Роботы возврата к среднему. Эти роботы совершают сделки, исходя из предположения, что цены, в итоге, вернутся к своему среднему или среднему значению.

1.1.3.Преимущества торговых роботов

На сегодняшний день, рынок криптовалют стремительно развивается, о чем нам говорит кол-во крипто монет, чье число насчитывает около 2000 единиц. Рынок криптовалют – это постоянное изменение и большое кол-во данных, влияющих на формирование цен. Основным преимуществом использования торговых роботов в торговле криптовалютой является их способность работать в режиме 24/7, что позволяет им отслеживать рынок и совершать сделки в любое время. Это особенно важно на рынке криптовалют, который работает круглосуточно и без выходных, и в любой момент может столкнуться с внезапными колебаниями цен. Кроме того, торговые роботы могут анализировать большие объемы данных и принимать решения на основе сложных алгоритмов, что может привести к более прибыльным сделкам.

Преимущества использования торгового робота [25]:

1) Скорость и эффективность.

Торговые роботы могут анализировать рыночные данные и совершать сделки намного быстрее, чем люди, что может привести к более прибыльным сделкам.

2) Последовательность.

Торговые роботы не подвержены человеческим эмоциям, предубеждениям или усталости, что может привести к непоследовательным торговым решениям. Они последовательно следуют заранее установленным правилам и стратегиям.

3) Доступность 24/7.

Торговые роботы могут работать круглосуточно, отслеживая рынки и совершая сделки, в отличие от человека.

4) Диверсификация.

Торговые роботы могут быть запрограммированы для одновременной торговли несколькими активами или рынками, обеспечивая диверсификацию и снижая общий риск.

5) Тестирование на исторических данных и оптимизация.

Торговые роботы могут быть протестированы на истории и оптимизированы с использованием исторических данных, чтобы убедиться, что они эффективны, прежде чем использовать их в реальной торговле.

Говоря о торговле криптовалютами, стоит отметить, что торги ведутся во всем мире в разных часовых поясах, что создает определенные трудности для трейдеров, такие проблемы решаются использованием торговых роботов. Также, по сравнению с человеком, торговый робот работает существенно быстрее, соответственно, может совершить гораздо больше сделок за аналогичный промежуток времени.

На основе вышесказанной информации можно сделать вывод о том, что торговые роботы становятся все популярнее и большинство трейдеров заинтересовано в том, чтобы их процесс торговли был более качественным и прибыльным, поэтому заказов на разработку торговых роботов становится все больше с каждым днем.

1.2. Анализ области применения машинного обучения для предсказания цен криптовалют

В ходе анализа области текущего исследования были рассмотрены библиометрические показатели в период с 2017 – 2021 года с помощью платформы SciVal по следующему тематическому кластеру: Exchange Rates, Prices, Bitcoin. Статистика показателей представлена на рисунке 1.

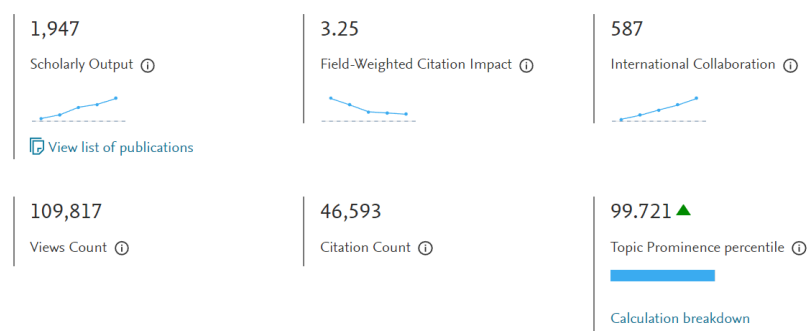


Рисунок 1 – Библиометрические показатели по тематическому кластеру⁴

Далее, на рисунке 2 представлены библиометрические показатели по области исследования, ключевым запросом для поиска был: («forecasting» AND «cryptocurrency» AND «machine learning»).

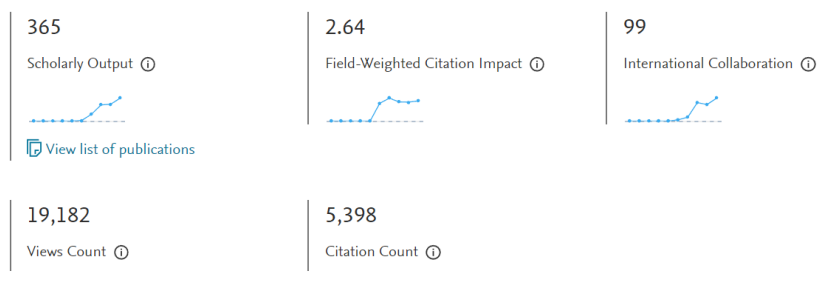


Рисунок 2 – Библиометрические показатели по области исследования⁵

Также, по результатам поиска библиометрический показателей по области исследования было получено облако слов (рисунок 3).

⁴ Составлено автором по [11]

⁵ Составлено автором по [11]

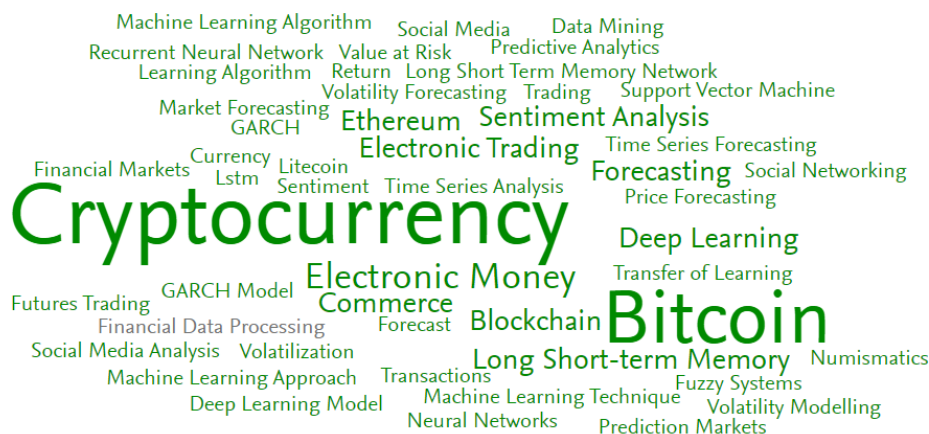


Рисунок 3 – Облако слов по результатам поиска области исследования⁶

По результатам полученных библиометрических показателей был сделан вывод: динамика количества публикаций положительная, что по тематическому кластеру, что по области исследования, также, средний показатель взвешенного цитирования выше средних показателей. По результатам показателей можно сказать, что выбранная тема ВКР весьма актуальна, и в первую очередь это связано с постоянным развитием как технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, так и с развитием рынка криптовалют.

Для научного анализа были использованы исследовательские работы, которые рассматривают применение машинного обучения и искусственного интеллекта для предсказания временных рядов и классификации настроений новостных записей в контексте формирования торговых сигналов на криптовалютном рынке. В рамках анализа были изучены подходы и методы как отечественных, так и зарубежных исследователей. В работах таких авторов, как McNally, S., Lahmiri, S., Patel, M.M. и др. [54-57] представлены методы и модели ИИ, а именно рекуррентная нейронная сеть (RNN) и сеть с долговременной кратковременной памятью (LSTM) в задаче прогнозирования цен криптовалют в условиях хаотической динамики рынка. В работах

⁶ Составлено автором по [11]

представлено доказательство что глубокое обучение эффективно для прогнозирования цен в условиях с высокой динамикой, а также получены результаты работы сети RNN средним результатом которой является точность 45% и среднеквадратичная ошибка в 10%, результаты сети LSTM составляют 52% точность и среднеквадратичная ошибка в 8% при предсказании данных на семь дней, что подмечается авторами работ как эффективность нелинейных методов глубокого обучения в задачах прогнозирования временных рядов. То, что нейронные сети эффективно показывают себя в задаче предсказания временных рядов в виде котировок криптовалют, подтверждает в своем исследовании Alonso-Monsalve, S. [59]. В исследовании автор рассматривает гибридную сеть, состоящую из сверточной нейронной сети (CNN) и LSTM. Точность такой модели на тестовых данных составляет 85.36% точности при предсказании данных на 7 дней. Говоря про эффективность сети LSTM, Mudassir, M. в своей работе [61] приводит сравнительный анализ четырех разных методов, таких как: ANN, SANN, SVM и LSTM, в результате которого, сеть LSTM показала наилучшие средние результаты среди других моделей, а именно: точность 65% для предсказания цены на следующий день и точность от 62% до 60% на предсказания на семь и девяносто дней. При этом для дневного прогноза среднеквадратичная ошибка MAPE составляет 1.44%, а для предсказаний от 7 до 90 дней показатель ошибки колеблется от 2.88% до 4.20% соответственно. Тему сравнительного анализа методов машинного обучения поднимает Hitam, N.A. в своей работе [63], сравнивая такие методы как: SVM, ANN, DL, BoostedNN. В своем исследовании автор, на основе подготовленного им набора данных в период с 17.01.2017 по 16.01.2018, получил результат, что метод SVM (машина опорных векторов) превзошел другие методы с точностью в 93.5%, что говорит о том, что SVM может так же быть использован как высокоточная модель прогнозирования цен криптовалюты. Проводя анализ эффективных высокоточных моделей, стоит отметить модель DRCNN в рамках задачи предсказания временных рядов, в работе Lamothe-Fernández, P. [62], автор демонстрирует результаты работы

гибридной сети, состоящей из рекуррентной и сверточной нейронной сети. Применение такой гибридной архитектуры нейронной сети позволило автору получить высокие результаты при предсказании цен на один год и два года, а именно диапазон точности 92.61% – 95.27% соответственно. Для обучения модели автор использовал данные котировок с 2011 по 2019 год, учитывая плавный рост криптовалют в данный промежуток времени, результаты автора выглядят реально, но стоит учитывать, что рынок криптовалют высокодинамичный, особенно в сегодняшние дни и предлагаемый автором метод может не дать такую высокую точность на нынешних данных. Хотя нейронные сети и дают высокую точность в задачах предсказания временных рядов, но занимают достаточно много времени на обучение, решением данной проблемы является использование такой библиотеки как Facebook Prophet. В своей работе Indulkar, Y. [73] проводит сравнительный анализ эффективности нейронной сети LSTM и библиотеки Facebook Prophet используя одинаковый набор данных, включающий в себя исторические данные котировок Bitcoin за год. Результатами работы стали следующие показатели, классическая архитектура LSTM с 200 эпохами обучается в среднем за 35 секунд с средней абсолютной ошибкой (MAPE) 1.6%, а Facebook Prophet обучается в среднем за 10 секунд и имеет MAPE 2%, из чего был сделан вывод, что библиотека Facebook Prophet немного жертвуя точностью работает в среднем быстрее в три раза чем более точные архитектуры нейронной сети. Результаты данного исследования очень важный в рамках текущей работы, ведь для Telegram-бота, как системы для реализации торговой стратегии, важна скорость работы, которой можно достичь с использованием Facebook Prophet.

Говоря про высокую динамику цен криптовалют, стоит отметить, что одним из важных факторов на формировании цены является эмоциональное настроение рынка. Люди, как основные участники криптовалютного рынка, напрямую влияют на ценообразование и тренд. Для того чтобы учитывать такой важный показатель как эмоциональное настроение рынка, необходимо

анализировать записи пользователей социальных сетей, таких как Twitter, Facebook, Reddit, и другие специализированные криптовалютные социальные сети, в которых происходят обсуждения новостей, которые могут повлиять на уверенность пользователей в той или иной криптовалюте. Так в своем исследовании Kilimci, Z.H. [65], используя предварительно размеченный набор данных социальной сети Twitter, сравнивает работу трех наиболее популярных языковых моделей (NLP) таких как: Word2Vec, GloVe, FastText в качестве дополнения к моделям глубокого обучения таких как: LSTM, RNN, CNN. Результаты исследования показывают, что модель FastText показывает наивысший результат среди других рассматриваемых языковых моделей, а именно 59.13%. Одним из важных факторов при использовании эмоциональных меток как признака, влияющего на изменение динамики цен криптовалют, является доказательство корреляции эмоциональных меток и временного ряда цен. Так Самаль Д. И. в своей работе [83], использовал данные из социальной сети Twitter и анализатор тональности OpinionFinder. Для оценки точности было вручную отобрано 500 записей на основе которых OpinionFinder показал точность в 64.63%, что связано с наличием сообщений, содержащих в себе беспорядочный набор слов, которые даже вручную сложно классифицировать к определенной эмоциональной метке. Для оценки корреляции были использованы коэффициент Пирсона и коэффициент ранга Кендалла. Результатом исследования является то, что была достигнута точность корреляции в 56.49%, а мера согласия каппа 0.1301 что означает что корреляция статистически не важна. Автором было замечено, что анализ и обработка входных данных играет огромную роль при аналогичных исследованиях. Пример предсказания колебания цен криптовалюты на короткие временные периоды, а именно 30 минут рассмотрел Мазуренко В. А. в своей работе [76]. Автор использовал входные данные, собранные из социальной сети Twitter с 10 минутным интервалом, а также стандартные инструменты библиотеки Scikit-learn – CountVectorizer для обработки полученных данных. Как классификатор был использован алгоритм

логистической регрессии. В итоге результаты работы показали, что использование анализа настроений для предсказания движения цен криптовалют на коротких временных отрезках дает низкую точность правильности предсказанных направлений, а именно 30.9% точности на обучающей выборке и 39.6% на тестовой выборке.

Важным аспектом при работе с криптовалютным рынком являются технические индикаторы, представляющие из себя математические функции, которые основываясь на ценовых и объемных данных помогают анализировать рынок, и принимать финансовые решения. Так Федченков И. В. в своем исследовании [78] проводит сравнительный анализ таких индикаторов как: MACD, Relative Strength Index, Williams %R, Money Flow Index, Aroon Indicator, Commodity Channel Index, а также предлагает сводный предиктивный индикатор. Идея сводного индикатора заключается в том, что несколько технических индикаторов объединяются для повышения точности прогнозирования, что должно уменьшить вероятность ложных сигналов, поскольку для формирования сигнального положения нужно, чтобы большинство индикаторов указывали на него. Результаты исследования показали, что использование сводного предиктивного индикатора показывает лучший результат, чем отдельно взятые технические индикаторы, а именно по показателю средней доходности на таких временных промежутках как 15 минут и 1 час результаты составили 21.2% и 14.5% что превышает доходность отдельно взятых индикаторов в 2 раза.

Так же, нельзя не отметить работу [84] Варнавского А. В. Данная работа представляет патент изобретения, в котором рассматривается способ и алгоритм, который позволяет давать рекомендации по принятию инвестиционных решений на рынке цифровых активов. Техническим результатом является расширение арсенала технических средств для эффективной торговли на рынке цифровых активов. Автор рассматривает комбинированный алгоритм использующий анализ настроений как фактор,

влияющий на колебания цен криптовалют, а также сбор информации из разных источников для формирования рекомендаций по принятию инвестиционных решений. Результат работы показывает, что использование комбинированного алгоритма, рассмотренного автором работы, эффективно для разработки систем для генерации рекомендаций по принятию инвестиционных решений на рынке цифровых активов. Говоря про комбинации технических средств для создания эффективной системы, стоит отметить работу Вейс Аллан Н. [86]. В своем патенте автор рассматривает создание комплекса технических средств, для управлений инвестициями. Основным результатом работы является разработка практического руководства по использованию предложенного комплекса технических средств для управления рисками в инвестиционной деятельности. Данная работа подтверждает, что использование комплекса технических средств, для создания инструмента с возможностью управления финансовыми решениями является эффективным подходом, что также подтверждается в работе Посаженникова В. В. [87]. Автор в своем патенте рассматривает разработку системы для совершения торговых операций, путем использования электронных средств обработки информации, которые представляют собой группу связанных друг с другом технических средств. Результат данной работы так же важен для текущей работы, ведь подтверждает эффективность использования группы технических средств для обработки информации и совершения торговых операций на её основе. Стоит отметить, что автоматизация процессов сбора и анализа данных, а также формирование рекомендаций для принятия финансовых решений на цифровых рынках имеет большую значимость. Так О'Доноху Хью в своей работе [85] рассматривает алгоритм создания мобильного приложения, которое будет предоставлять пользователям доступ к информации о состоянии фондового рынка и давать рекомендации по инвестированию на основе анализа данных. Результатом должен стать мощный инструмент для принятия инвестиционных решений, доступный через мобильное приложение.

По результатам изученных работ, можно отметить то, что во всех работах используются уникальные методологии, подходы для решения схожих задач. Уникальность методов заключается, в первую очередь, в различных комбинациях методов машинного обучения, а также, в уникальной настройке гиперпараметров, функций активации нейронных сетей, используемых моделей. В рассмотренных работах используются методы работы с временными рядами, а также, работа с анализом настроений. Данные результаты собраны главным образом для того, чтобы акцентировать внимание на существующей проблеме необходимости улучшить точность торговых сигналов, путем улучшения качества используемых алгоритмов машинного обучения.

Таким образом, на основании проведенного анализа были выбраны следующие методы машинного обучения и искусственного интеллекта для предсказания цен закрытия котировок криптовалют: LSTM, Facebook Prophet, с целью улучшить качество предсказанных данных на однодневном временном периоде. Данные методы выбраны из-за своей высокой предсказательной точностью, а также скоростью работы. Для классификации настроений новостных данных были выбраны такие методы как: LinearSVC, логистическая регрессия, GradientBoosting, с целью улучшить точность классифицируемых данных, путем использования входных данных из специализированных источников по крипторговле. Также, для автоматизации процессов сбора, анализа данных и формирования на основе их рекомендаций по принятию инвестиционных решений, была выбрана разработка Telegram-бота, как системы, реализующей весь основной функционал используемых методов.

В итоге анализа можно сделать вывод, что методы, которые применены в работе весьма актуальны, так как, представленные методологии имеют отличное свойство комбинирования и возможность гибко и уникально настраиваться под поставленную задачу.

1.3. Обзор и анализ и инструментальных средств для разработки

1.3.1. Языки программирования и основные понятия

Язык программирования — это набор инструкций или команд, используемых для создания программных приложений, веб-сайтов и других компьютерных программ [53]. Это формальный язык, который позволяет программистам писать код, понятный и исполняемый компьютерами. Языки программирования могут быть высокоуровневыми или низкоуровневыми, интерпретируемыми или компилируемыми и могут иметь различный синтаксис и семантику.

Программа — это набор инструкций или кода, написанного на языке программирования, который сообщает компьютеру, что делать [53]. Это может быть программное приложение, сценарий или компьютерная программа любого другого типа, которая выполняет определенную задачу или набор задач. Программы могут варьироваться от простых задач, таких как печать «Hello, World!» на экране до сложных приложений, таких как видеоигры или корпоративные программные системы.

Семантика в программировании относится к значению или интерпретации кода. Это включает в себя понимание того, как будет вести себя код и что он сделает при выполнении. Семантика представляет из себя конкретные требования и правила для языковых конструкций, позволяющие выполнять обработку данных или построение математических моделей.

Синтаксис — это набор правил и норм, определяющий определенные комбинации символов алфавита, которые в совокупности представляют из себя корректно составленный программный код [53].

Как было сказано выше существуют два вида языков программирования это низкоуровневые и высокоуровневые языки [53]:

- Языки программирования низкого уровня — это языки программирования, которые ближе к аппаратному обеспечению и предназначены для непосредственного взаимодействия с аппаратным обеспечением компьютера. Эти языки включают язык ассемблера и машинный код. Такие языки обеспечивают высокую степень контроля над аппаратным обеспечением компьютера, но на них сложно писать и поддерживать.
- Языки программирования высокого уровня — это языки программирования, разработанные так, чтобы их было легко использовать и понимать. Такие языки представляют абстракции, упрощающие написание сложных программ и логических конструкций с данными.

Основное различие между низкоуровневыми и высокоуровневыми языками программирования заключается в уровне абстракции, который они обеспечивают. Языки низкого уровня обеспечивают низкий уровень абстракции, а это означает, что программистам приходится иметь дело напрямую с аппаратной частью компьютера, что является причиной отсутствия мобильности, ведь каждая программа пишется под определенную системную архитектуру. Языки высокого уровня обеспечивают более высокий уровень абстракции, что означает, что программисты могут сосредоточиться на решении проблем, а не беспокоиться о деталях аппаратного обеспечения компьютера.

1.3.2. Обзор и сравнительный анализ языков программирования для анализа данных и разработки моделей машинного обучения

На сегодняшний день существует большое количество языков программирования используемых для конкретно поставленных задач.

Для анализа данных и разработки методов и моделей машинного обучения обычно используются следующие языки программирования: Python, R, Java, C++, Scala и MATLAB.

Python – популярный язык для анализа данных и машинного обучения из-за его простоты, гибкости и простоты использования [27]. Он имеет большое количество библиотек и фреймворков, упрощающих работу с данными, включая NumPy, Pandas и Scikit-learn. Python также является языком общего назначения, то есть его можно использовать для широкого круга задач, помимо анализа данных.

Преимущества Python:

- высокая популярность языка, в результате чего имеет множество библиотек и расширений, а также, высокую поддержку сообщества разработчиков;
- имеет понятный и простой синтаксис, что отлично сказывается на низком пороге входа;
- наличие таких библиотек как: Scikit-Learn, Pandas и Tensorflow, делают Python отличным инструментом для приложений с машинным обучением.

Недостатки Python:

- динамическая типизация. Зачастую могут встречаться ошибки, когда метод должен получить на вход данные в виде integer, а получает string;
- имеет не так много узконаправленных библиотек для статистического анализа данных.

R – это язык, специально разработанный для статистических вычислений и графики [28]. Он имеет большое количество встроенных функций для обработки данных, статистического анализа и визуализации. R также обладает широкими возможностями расширения: для

специализированных задач, таких как машинное обучение, доступно большое количество пакетов.

Преимущества R:

- наличие библиотек, таких как, `ggplot2`, позволяющих выполнять качественную визуализацию;
- наличие специализированных библиотек и пакетов с открытым кодом для любых статистических задач, например таких как: нелинейная регрессия, нейронные сети и так далее;
- отлично справляется с задачами матричной алгебры.

Недостатки R:

- не самая высокая производительность;
- узкоспециализированный язык программирования, подходит только для обработки данных и статистики;
- нетривиальные особенности языка, к ним относятся следующие примеры: отличия от традиционных структур данных, индексирование с единицы, наличие нескольких операторов присвоения.

Java – это язык программирования общего назначения, который широко используется в корпоративных приложениях, включая анализ данных и машинное обучение [29]. Он известен своей масштабируемостью и производительностью, что делает его хорошим выбором для крупномасштабной обработки данных. В Java есть несколько библиотек машинного обучения, включая Weka и Deeplearning4j.

Преимущества Java:

- популярность языка;
- высокая производительность и широкий спектр использования. Данный язык может использоваться как для работы с большими данными, так и для разработки бизнес-логики;

- имеет строгую типизацию, что является отличным показателем для работы с большими данными.

Недостатки Java:

- имеет небольшое количество библиотек для работы со статистикой;
- не эффективен в узконаправленных задачах статистики и анализа данных из-за своей строгой типизации.

C++ – это высокопроизводительный язык, который обычно используется в научных вычислениях и машинном обучении [28]. Он известен своей скоростью и эффективностью, что делает его хорошим выбором для задач с интенсивными вычислениями. В C++ есть несколько библиотек машинного обучения, включая TensorFlow и Caffe.

Преимущества C++:

- очень высокая производительность;
- имеет широкую область применения.

Недостатки C++:

- имеет не так много пакетов и библиотек для работы с машинным обучением;
- проигрывает по продуктивности вычислений многим языкам из-за своих особенностей архитектуры и сложности языка.

Язык Scala способен быстро обрабатывать невероятно большие объемы информации, поэтому его используют Twitter, LinkedIn или Тинькофф. Фреймворк Apache Spark, который важен для машинного обучения и анализа больших данных, написан на Scala. Эта платформа является частью экосистемы Hadoop и обеспечивает параллельную обработку неструктурированных данных в режиме реального времени [30]. Он легко взаимодействует с кодом Java и библиотеками этого языка.

Преимущества языка Scala:

- компилируемость и работа на JVM, что позволяет Scala работать с Java, за счет чего является языком для большого спектра задач;
- Scala позволяет работать как с ООП, так и используя функциональный подход;
- в связке с Spark, Scala выполняет кластерные вычисления с высокой производительностью, что идеально подходит для работы с большими данными.

Недостатки языка Scala:

- специфичность синтаксиса и типизации данных;
- сложен в изучении.

MATLAB – это частный язык, обычно используемый в научных вычислениях и инженерных приложениях [31]. Он имеет большое количество встроенных функций для численного анализа, обработки сигналов и обработки изображений. MATLAB также имеет несколько наборов инструментов для машинного обучения, в том числе набор инструментов для статистики и машинного обучения.

Преимущества MATLAB:

- наличие встроенных функций для качественной визуализации;
- отлично подходит для проектов, где необходимы вычисления сложных математических функций.

Недостатки MATLAB:

- наличие проприетарной лицензии;
- узкий спектр применения.

Подводя итоги анализа, стоит отметить, что все языки программирования разные, имеют свои особенности и по-разному показывают

себя в задачах анализа, статистики и машинного обучения. При выборе определенного языка, стоит учитывать сложность и специфичность поставленной задачи.

Для выполнения задач, поставленных в работе, был выбран язык программирования Python, из-за своей гибкости, простоты и поддержки всех необходимых инструментов и библиотек для разработки стратегии торгового робота на основе машинного обучения.

1.3.3. Обзор и сравнительный анализ методов машинного обучения в стратегиях торговли

Машинное обучение (Machine Learning) — это тип искусственного интеллекта, который позволяет машинам учиться на данных и повышать свою производительность без явного программирования [33]. Он включает в себя разработку алгоритмов, которые могут идентифицировать закономерности в данных, делать прогнозы и принимать решения на основе этих закономерностей.

Существует три основных типа машинного обучения [34]: обучение с учителем, обучение без учителя и обучение с подкреплением.

Обучение с учителем включает в себя обучение модели машинного обучения на размеченных данных, где модель получает входные данные и соответствующие выходные данные. Модель учится выявлять закономерности во входных данных и прогнозировать выходные данные для новых, невидимых данных.

Неконтролируемое обучение включает в себя обучение модели на неразмеченных данных, где модель должна самостоятельно определять закономерности и структуру данных. Этот тип обучения часто используется для кластеризации и уменьшения размерности.

Обучение с подкреплением включает в себя обучение модели методом проб и ошибок. Модель учится, получая обратную связь в виде вознаграждения или наказания за свои действия, и соответствующим образом корректирует свое поведение.

Методы машинного обучения в стратегиях торговли криптовалютой включают использование алгоритмов и статистических моделей для анализа рыночных данных и прогнозирования будущих движений цены. Эти методы становятся все более популярными среди трейдеров, поскольку они могут помочь определить закономерности и тенденции, которые могут быть не сразу видны человеческому глазу.

Такой метод машинного обучения как прогнозная аналитика, активно используется в рыночной торговле для определения будущих цен, движения цен и настроения рынка на основе исторических данных.

Предиктивная аналитика (Predictive analytics) – это использование статистических алгоритмов и методов машинного обучения для анализа исторических данных и прогнозирования будущих событий или тенденций [37]. Он включает в себя использование данных, статистических алгоритмов и методов машинного обучения для выявления закономерностей и взаимосвязей в данных, а затем использование этих закономерностей для прогнозирования будущих событий.

Прогнозная аналитика используется в самых разных отраслях, включая финансы, здравоохранение, маркетинг и производство. Его можно использовать для прогнозирования поведения клиентов, выявления случаев мошенничества, оптимизации маркетинговых кампаний, улучшения управления цепочками поставок и многого другого.

Процесс прогнозной аналитики обычно включает несколько этапов, включая сбор данных, очистку и подготовку данных, выбор функций, построение модели, оценку модели и ее развертывание. Цель состоит в том,

чтобы создать модель, которая может точно предсказывать будущие события или тенденции на основе исторических данных.

Некоторые распространенные методы, используемые в прогнозной аналитике, включают регрессионный анализ, деревья решений, нейронные сети и кластеризацию. Эти методы можно использовать для выявления закономерностей и взаимосвязей в данных, классификации данных по различным категориям и прогнозирования будущих событий.

Самой распространенной задачей в торговле криптовалютами является работа с временными рядами. Задачи временных рядов в машинном обучении включают прогнозирование будущих значений переменной на основе ее прошлых значений. Эти задачи могут быть сложными из-за сложных шаблонов и зависимостей, которые могут существовать в данных временных рядов.

Одной из распространенных проблем при прогнозировании временных рядов является сезонность, которая относится к повторяющимся закономерностям, возникающим через фиксированные интервалы времени. Например, продажи зимней одежды могут увеличиваться в зимние месяцы и уменьшаться в летние месяцы. Еще одной проблемой является тенденция, которая относится к долгосрочным изменениям данных с течением времени. Например, выручка компании может неуклонно расти в течение нескольких лет.

Другие проблемы в прогнозировании временных рядов включают работу с отсутствующими данными, обработку выбросов и выбор подходящих функций для использования в модели. Кроме того, переобучение может быть проблемой, если модель слишком сложна и фиксирует шум в данных, а не истинные закономерности. Для решения этих проблем можно использовать различные методы машинного обучения, в том числе традиционные статистические методы, такие как ARIMA, и новые подходы к глубокому

обучению, такие как рекуррентные нейронные сети (RNN) [35]. Важно тщательно оценить и сравнить различные модели, чтобы выбрать наилучший подход к конкретной проблеме временных рядов.

Одним из распространенных методов машинного обучения, используемых в торговле криптовалютой, являются нейронные сети. Нейронные сети — это тип искусственного интеллекта, который может обучаться и адаптироваться к новой информации с течением времени [36]. Их можно научить распознавать закономерности в рыночных данных и делать прогнозы будущих движений цен на основе этих закономерностей.

В стратегиях торговли криптовалютой часто используется рекуррентная нейронная сеть – LSTM. LSTM (долговременная кратковременная память) — это тип рекуррентной нейронной сети (RNN), предназначенный для решения проблемы исчезающего градиента в традиционных RNN [37]. Проблема исчезающего градиента возникает, когда градиенты в процессе обратного распространения становятся очень маленькими, что затрудняет изучение сетью долгосрочных зависимостей. Сети LSTM состоят из ячеек памяти, соединенных шлюзами, которые контролируют поток информации в ячейки и из них. Ворота состоят из сигмовидных функций активации, которые выводят значения от 0 до 1, которые представляют количество информации, которое должно быть пропущено. Архитектура нейронной сети LSTM изображена на рисунке 7.

Три основных типа ворот в сети LSTM [37]:

- Ворота «забыть». Эти ворота определяют, какую информацию следует забыть из предыдущего состояния ячейки.
- Входные ворота. Определяет, какую новую информацию добавить к текущему состоянию ячейки.
- Выходные ворота. Этот тип ворот определяет, какую информацию выводить из текущего состояния ячейки.

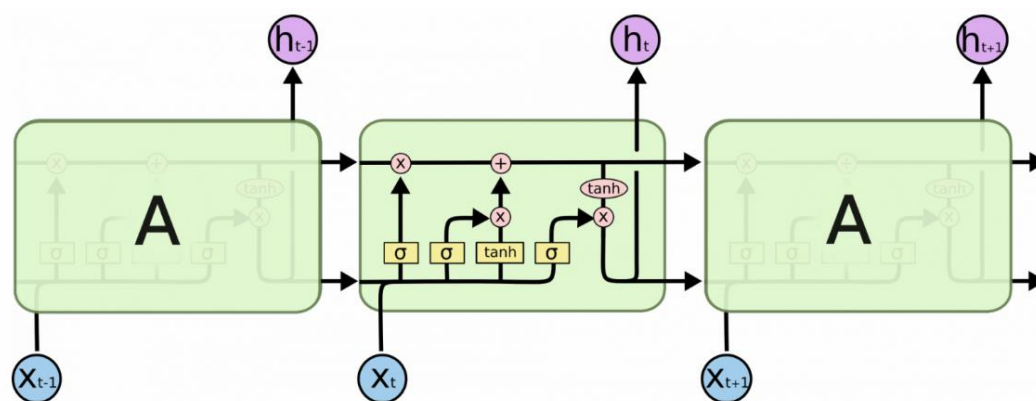


Рисунок 7 – Архитектура нейронной сети LSTM⁷

В стратегиях торговли криптовалютами LSTM используется для прогнозирования будущих цен и принятия торговых решений. Сеть обучается на исторических ценовых данных, а также на других соответствующих рыночных данных, таких как объем торгов и настроения в социальных сетях.

Одним из примеров использования LSTM в торговле криптовалютой является прогнозирование краткосрочных движений цены. Модель можно обучить на почасовых или дневных данных о ценах, а затем использовать для прогнозирования цены на следующий час или день. Затем трейдеры могут использовать эту информацию для совершения краткосрочных сделок.

Другой пример – использование LSTM для прогнозирования долгосрочных тенденций на рынке. Модель можно обучать на месячных или годовых данных о ценах, а затем использовать для прогнозирования будущих тенденций на более длительный период времени. Трейдеры могут использовать эту информацию для принятия долгосрочных инвестиционных решений.

Проблема работы с временными рядами, такая как отсутствие данных и выбросы отлично решает такой инструмент машинного обучения как, Facebook Prophet [38]. Prophet использует модель разложимого временного ряда, которая включает три основных компонента [38]: тренд, сезонность и

⁷ Составлено автором по [40]

праздничные дни. Компонент тренда фиксирует общее направление временного ряда, а компонент сезонности фиксирует периодические колебания. Компонент праздника позволяет модели учитывать разовые события, такие как праздники или особые события, которые могут повлиять на временной ряд.

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t$$

Рисунок 5 – Компоненты Facebook Prophet

Facebook Prophet состоит из следующих компонентов:

- $g(t)$ – тренд, представляется в виде логистической или кусочно-линейной функцией;
- $s(t)$ – сезонные компоненты, ответственны за моделирование изменений, связанных с определенной сезонностью (недельной, годовой). Моделирование недельной сезонности происходит с помощью «dummy variables», а моделирование годовой происходит рядами Фурье;
- $h(t)$ – аномальные дни, такими днями считаются различные праздники и выходные или особые дни;
- ϵ_t – ошибка, содержащая информацию, не учтенную моделью.

Prophet прост в использовании и может применяться к широкому спектру данных временных рядов, включая экономические показатели, погодные условия и показатели социальных сетей. Он также предоставляет встроенные инструменты для визуализации и оценки производительности модели. Одним из преимуществ Prophet является его способность обрабатывать отсутствующие данные и выбросы во временном ряду. Он также предоставляет интервалы неопределенности для своих прогнозов, которые могут быть полезны для оценки риска, связанного с различными решениями, основанными на прогнозируемых значениях.

В целом, Facebook Prophet – это отличный инструмент для прогнозирования временных рядов, который можно использовать в различных приложениях, включая финансы, маркетинг и планирование операций.

Еще один метод машинного обучения, используемый в торговле криптовалютой – деревья решений. Деревья решений – это тип алгоритма, который используется для анализа сложных наборов данных и создания прогнозов, на основе набора правил или условий. Их используют для определения ключевых индикаторов, которые могут влиять на движение цены, таких как объем торгов или настроение рынка.

Помимо нейронных сетей и деревьев решений, есть несколько других методов машинного обучения, которые используются в стратегиях торговли криптовалютой [33]:

1. Машины опорных векторов (SVM). SVM – алгоритм для классификации данных по разным категориям. В торговле SVM можно использовать для прогнозирования вероятности увеличения или уменьшения стоимости конкретного актива на основе исторических данных.
2. Случайные леса (Random Forest). Случайные леса – это тип алгоритма для анализа больших наборов данных и создания прогнозов на основе нескольких деревьев решений. В торговле криптовалютой случайные леса можно использовать для определения ключевых индикаторов, которые могут влиять на движение цены, и делать прогнозы на основе этих индикаторов.
3. К-ближайшие соседи (KNN). KNN – это тип алгоритма, который используется для классификации данных на основе их близости к другим точкам данных. В торговле KNN можно использовать для выявления схожих рыночных условий и составления прогнозов на основе исторических данных.
4. Линейная регрессия. Линейная регрессия – это статистический метод, который используется для анализа связи между двумя переменными. В

торговле криптовалютой линейную регрессию можно использовать для выявления тенденций и прогнозирования будущих движений цены на основе исторических данных.

Также стоит отметить важный инструмент при работе с любым видом рынка – это анализ настроений. Анализ настроений – это область обработки естественного языка (NLP), которая включает использование алгоритмов машинного обучения для автоматической идентификации и извлечения субъективной информации из текстовых данных [40]. Целью анализа настроений является определение общего настроения или эмоционального тона фрагмента текста, такого как сообщение, обзор или новостная статья.

Основная задача обработки естественного языка является классификация. Цель классификации — построить модель, которая может точно предсказать класс новых немаркированных точек данных на основе их характеристик, а в случае обработки естественного языка выдать метки в виде, «Positive», «Neutral», «Negative», для оценки поступающих на вход модели (NLP) заголовков, комментариев и любых других текстовых форм [41].

Существует несколько типов алгоритмов классификации [41], включая логистическую регрессию, деревья решений и методы опорных векторов (SVM). Логистическая регрессия включает в себя подгонку логистической функции к данным для прогнозирования вероятности каждого класса. Деревья решений включают рекурсивное разбиение данных на более мелкие группы в зависимости от их характеристик, пока каждая группа не будет соответствовать одному классу. SVM включают поиск гиперплоскости, которая лучше всего разделяет данные на разные классы. Они особенно полезны для наборов данных со сложными нелинейными границами между классами.

Существует несколько подходов к анализу настроений в машинном обучении, включая системы на основе правил, обучение с учителем и

обучение без учителя. Системы, основанные на правилах, полагаются на predetermined правила и словари для классификации текста как положительного, отрицательного или нейтрального в зависимости от наличия определенных слов или фраз. Обучение с учителем включает в себя обучение модели машинного обучения на размеченном наборе данных текстовых примеров для прогнозирования тональности нового, невидимого текста. С другой стороны, неконтролируемое обучение включает в себя объединение похожих текстов вместе на основе их семантического сходства и определение настроения каждого кластера.

Анализ настроений имеет широкий спектр применений, включая мониторинг социальных сетей, управление репутацией бренда, исследования рынка и обслуживание клиентов. Его также можно использовать для анализа политических речей, новостных статей и других форм публичного дискурса, чтобы понять общественное мнение по различным вопросам.

Для того, чтобы определить влияние анализа настроений на изменение цен криптовалюты используются алгоритм кросс-корреляции [33]. Взаимная корреляция временных рядов — это статистический метод, используемый для измерения сходства между двумя наборами данных временных рядов. Он включает в себя расчет корреляции между соответствующими значениями двух временных рядов за определенный период времени. Функция взаимной корреляции измеряет, насколько один временной ряд связан с другим временным рядом, со значением в диапазоне от -1 до 1.

Положительная взаимная корреляция указывает на то, что два временных ряда движутся в одном направлении, а отрицательная взаимная корреляция указывает на то, что они движутся в противоположных направлениях. Значение 0 указывает на отсутствие корреляции между двумя временными рядами.

Взаимная корреляция временных рядов полезна во многих областях, включая финансы, экономику и метеорологию. Его можно использовать для выявления взаимосвязей между переменными, прогнозирования будущих тенденций и обнаружения аномалий или выбросов в данных. Он также широко используется в приложениях обработки сигналов и распознавания изображений. Взаимная корреляция временных рядов является эффективным алгоритмом для анализа и понимания сложных наборов данных во времени.

Подводя итог, методы машинного обучения являются мощным инструментом для криптовалютных трейдеров, стремящихся принимать более обоснованные инвестиционные решения. Трейдеры также должны знать о потенциальных рисках, связанных с использованием методов машинного обучения, таких как переобучение или систематическая ошибка данных.

1.4. Результаты и выводы первой главы

В данной главе проведен анализ предметной области, рассмотрены научные исследования, в которых представлены и описаны методы работы с временными рядами и работа с анализом настроений, а также представлено их практическое применение. Данные результаты собраны главным образом для того, чтобы акцентировать внимание на существующей проблеме необходимости улучшить точность торговых сигналов, путем улучшения качества используемых алгоритмов машинного обучения.

Рассмотрены такие понятия как криптовалюта и криптовалютный рынок, также, понятия торговый робот и торговая стратегия, математический анализ технических индикаторов, а также проведен сравнительный анализ данных понятий.

Проведен анализ языков программирования, в результате чего был выбран язык Python для решения поставленных в работе задач.

Рассмотрены методы машинного обучения, которые могут быть использованы в сферах экономики и финансов, таких как рынок криптовалют.

Проведен обзор и анализ инструментов и методов и задач машинного обучения, таких как, предиктивный анализ, использование рекуррентных нейронных сетей в задачах предсказания временных рядов, анализ настроений как вид обработки естественного языка (NLP), а также основных алгоритмов машинного обучения, в результате чего были выбраны такие инструменты, методы и библиотеки как:

- рекуррентная нейронная сеть – LSTM
- библиотека для прогнозирования временных рядов – Facebook Prophet;
- библиотеки pandas, numpy, matplotlib для обработки и анализа данных;
- библиотека Keras для глубокого обучения нейронных сетей;
- библиотека Scikit-learn

Методы машинного обучения и искусственного интеллекта для предсказания цен закрытия котировок криптовалют: LSTM, Facebook Prophet, с целью улучшить качество предсказанных данных на однодневном временном периоде. Данные методы выбраны из-за своей высокой предсказательной точностью, а также скоростью работы. Для классификации настроений новостных данных были выбраны такие методы как: LinearSVC, логистическая регрессия, GradientBoosting, с целью улучшить точность классифицируемых данных, путем использования входных данных из специализированных источников по крипторговле. Также, для автоматизации процессов сбора, анализа данных и формирования на основе их рекомендаций по принятию инвестиционных решений, была выбрана разработка Telegram-бота, как системы, реализующей весь основной функционал используемых методов.

Использование машинного обучения в создании торговой стратегии криптовалют повысит эффективность торговли, путем автоматизации нахождения точек входа и выхода торговых позиций.

2. АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА И АЛГОРИТМ ТОРГОВОЙ СТРАТЕГИИ

2.1. Разработка алгоритма торговой стратегии

На сегодняшний день в рыночной сфере и сфере финансов существуют следующие стратегии торговли [16]:

1. Анализ настроений. В стратегии используются алгоритмы машинного обучения для анализа социальных сетей и новостных настроений в отношении конкретной криптовалюты для принятия торговых решений.
2. Прогноз цен: торговый робот использует исторические данные о ценах и алгоритмы машинного обучения, чтобы прогнозировать будущие движения цен и совершать сделки соответственно.
3. Распознавание паттернов. С помощью алгоритмов машинного обучения выявляются паттерны в рыночных данных, и совершаются сделки на основе этих паттернов.
4. Технический анализ: в стратегии используются алгоритмы машинного обучения для анализа технических индикаторов, таких как скользящие средние, объем и импульс, для принятия торговых решений и совершения сделок.

Также, рассмотрим научные исследования, в которых предлагаются различные подходы к созданию торговых стратегий на основе машинного обучения.

В представленной работе [47] представлен комбинированный подход с использованием методов машинного обучения для выбора эффективной торговой стратегии на валютной бирже. Представленный подход использует расчет углового коэффициента линейной регрессии по индикаторам логарифмической доходности и определение тренда котировок валютной пары BTC/USD в следующем периоде на основе рассчитанного знака коэффициента. Данный подход весьма интересен и показывает неплохую точность, а основан он на техническом анализе.

В следующей работе [48] используется алгоритм долговременной кратковременной памяти (LSTM) для прогнозирования цены криптовалюты и анализ настроений Вейдера (Vader Lexicon Sentiment Intensity Analyzer) для прогнозирования настроений людей путем анализа социальной сети Twitter. В данном исследовании представлен комбинированный подход из прогнозирования цен и анализа настроений.

В следующей работе [51] на основе интеллектуального анализа ленты социальной сети Twitter представлено прогнозирование генерации сигналов для торговых действий. Объектом данного анализа является рынок криптовалюты Биткойн. Теоретической основой для этого подхода к прогнозированию является гипотеза эффективного рынка, которая утверждает, что новая информация может быть использована для получения экономических преимуществ. В работе предлагается алгоритм определения эмоций сообщений Twitter с тремя возможными уровнями оценок: отрицательным, нейтральным и положительным. В этом исследовании представлен подход к генерации торговых сигналов на основе анализа настроений по сообщениям в социальной сети.

В работе [52] представлено сочетание трех наиболее широко используемых стратегий обучения по ансамблю: усреднение по ансамблю, бэггинг и суммирование с передовыми моделями глубокого обучения для прогнозирования почасовых цен на основные криптовалюты. Результатом данной работы является комбинированный подход к предсказанию цен криптовалют для получения высокой точности предсказания и соответственно, получения торговых сигналов на основе предсказанных цен.

В рассмотренных выше работах представлены подходы к генерации торговых сигналов на основе алгоритмов машинного обучения, исследователи используют различные комбинации методов и алгоритмов машинного обучения для достижения результатов, в настоящей же работе предлагается использование комбинации вышеперечисленных разновидностей торговых

стратегий для получения сигналов покупки, продажи или удержания. Алгоритм работы модели торговой стратегии представлен на рисунке 14.

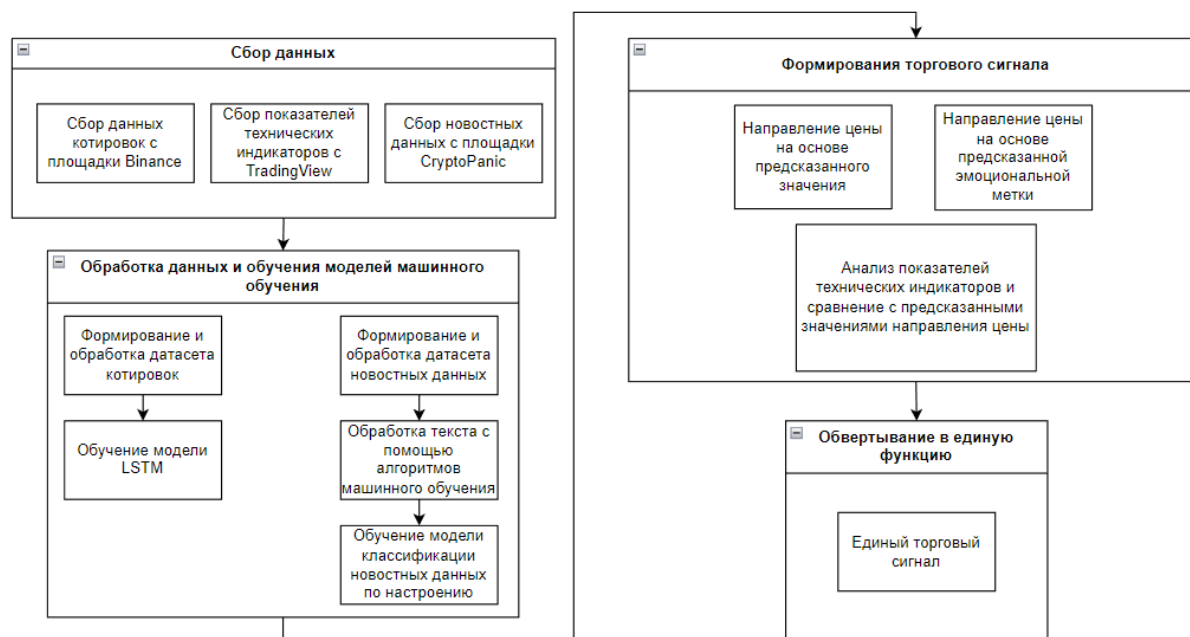


Рисунок 14 – Алгоритм работы модели торговой стратегии

2.2. Python как средство разработки торговой стратегии на основе алгоритмов машинного обучения

2.2.1. Необходимые библиотеки для Python

В первой главе, в результате сравнительного анализа был выбран язык программирования Python, из-за своей гибкости, простоты и поддержки всех необходимых инструментов и библиотек для работы с данными и алгоритмами машинного обучения. Рассмотрим библиотеки данного языка, необходимые для разработки торговой стратегии на основе алгоритмов машинного обучения.

Pandas – это библиотека анализа и обработки данных с открытым исходным кодом для языка программирования Python [42]. Он предоставляет структуры данных и функции для эффективной работы со структурированными данными, включая табличные данные, временные ряды и матричные данные. Основной структурой данных в pandas является

DataFrame, представляющий собой двумерную табличную структуру данных с помеченными строками и столбцами. Pandas также предоставляет данные в формате «Series», который представляет собой одномерный помеченный массив, который может содержать данные любого типа. Pandas предлагает широкий спектр функций для очистки, фильтрации, группировки, сортировки, слияния и изменения данных. Он может обрабатывать отсутствующие данные, данные временных рядов и категориальные данные что является основными типами данных в работе, что подтверждает необходимость и полезность данной библиотеки в разработке.

NumPy – это библиотека которая обеспечивает поддержку больших многомерных массивов и матриц, а также широкий спектр математических функций для работы с этими массивами [43]. Он широко используется в научных вычислениях, анализе данных и приложениях машинного обучения. Основной структурой данных в NumPy является «ndarray», представляющий собой многомерный массив, который может содержать элементы любого типа данных. NumPy предоставляет множество функций для создания, управления и обработки этих массивов, включая функции для индексации, нарезки, изменения формы и слияния массивов. NumPy также включает ряд математических функций, в том числе основные арифметические операции, статистические функции, операции линейной алгебры и преобразования Фурье. Он также поддерживает широкополосную передачу, что позволяет выполнять операции над массивами различной формы и размера. Данная библиотека необходима для анализа данных и научных вычислений необходимых в разработке.

Scikit-learn – это библиотека машинного обучения, которая предоставляет ряд инструментов для добычи и анализа данных, включая алгоритмы классификации, регрессии, кластеризации и уменьшения размерности [44]. Библиотека также включает ряд инструментов для выбора модели, извлечения признаков и предварительной обработки, а также

инструменты для оценки производительности модели и настройки гиперпараметров⁸. Scikit-learn также поддерживает ряд передовых методов, таких как ансамблевые методы, повышение градиента и глубокое обучение. Широко используется для решения задач по обработке естественного языка, распознавания изображений и прогнозной аналитики.

Scipy – это открытая библиотека для научных и технических вычислений в Python. Она содержит множество модулей для решения различных задач, таких как оптимизация, интерполяция, интегрирование, линейная алгебра, обработка сигналов, статистика.

Keras – это библиотека глубокого обучения, известная своей простотой использования, гибкости и совместимости с другими популярными библиотеками Python [45]. Keras предоставляет простой и интуитивно понятный API для создания и обучения нейронных сетей с поддержкой сверточных сетей, рекуррентных сетей и их комбинаций. Библиотека также включает инструменты для визуализации и отладки моделей, а также поддержку обратных вызовов (call back) и преждевременную остановку (early stop) для предотвращения переобучения.

NLTK (Natural Language Toolkit) – это библиотека Python для работы с данными человеческого языка [46]. Он предоставляет простые в использовании интерфейсы для более чем 50 лексических ресурсов, таких как WordNet, а также набор библиотек обработки текста для классификации, токенизации, выделения корней, тегов, синтаксического анализа, семантических рассуждений и многого другого.

Vader Lexicon Sentiment Intensity Analyzer – это компонент библиотеки NLTK, который предоставляет предварительно обученную модель для анализа настроений [46]. Компонент использует подход, основанный на правилах, для анализа текста и присвоения оценки тональности каждому предложению или

⁸ Гиперпараметры — это настраиваемые параметры, позволяющие управлять процессом обучения, а также производительностью модели машинного обучения [?].

фразе в тексте. Оценка тональности варьируется от -1 (наиболее негативная) до +1 (наиболее позитивная), где 0 указывает на нейтральную тональность. Анализатор интенсивности настроения Vader Lexicon учитывает как полярность (положительную или отрицательную), так и интенсивность настроения, выраженного в тексте. Также учитывается контекст, в котором используется текст, например наличие слов отрицания, таких как «не», или усилителей, таких как «очень».

2.3. Описание деятельности криптовалютной биржи

Компания, в которую внедряется торговая стратегия – «EXMO.me». Это биржа криптовалют, работающая на территории России, Казахстана и Беларуси. Биржа создана в 2014 году и насчитывает на данный момент около двух миллионов трейдеров по всему земному шару.

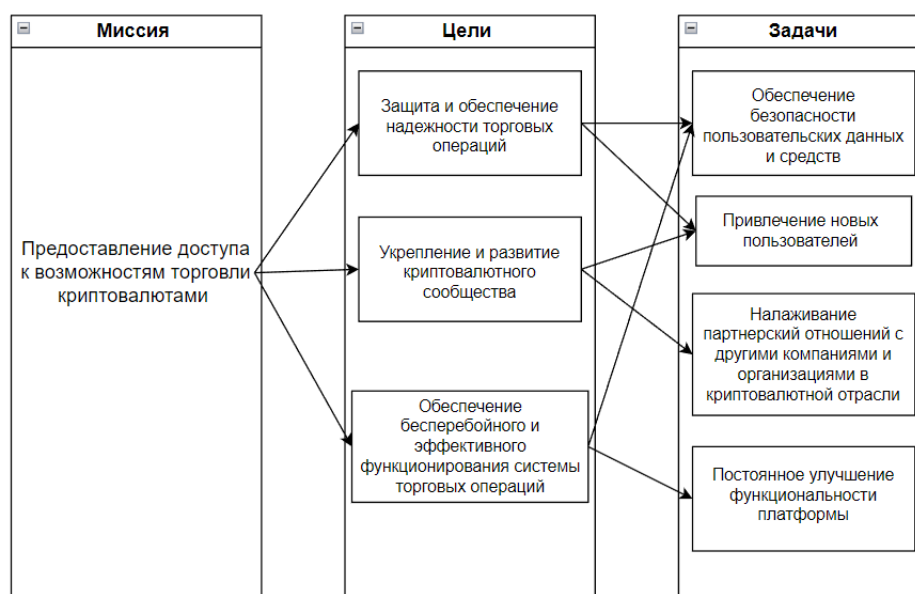


Рисунок 8 – Миссия, цели и задачи компании Exmo⁹

Основная миссия Exmo – предоставление доступа к возможностям торговли криптовалютами для пользователей во всем мире. Компания

⁹ Составлено автором по: [90]

стремится стать одной из лучших криптовалютных бирж, обеспечивая высокую степень безопасности и быстрое исполнение операций.

Целью Ехто является создание удобной и надежной платформы для торговли криптовалютами, которая будет соответствовать запросам как новых, так и опытных пользователей. Кроме того, компания стремится развивать инфраструктуру для криптовалютного сообщества, включая поддержку технологических инноваций, проведение мероприятий и обучение пользователей.

Основными задачами компании являются:

- обеспечение безопасности пользовательских данных и средств;
- постоянное улучшение функциональности платформы;
- привлечение новых пользователей и партнеров;
- налаживание партнерских отношений с другими компаниями и организациями в криптовалютной отрасли.

Ключевыми факторами успеха для компании Ехто являются:

- Надежность и безопасность: компания обеспечивает высокий уровень безопасности для пользователей, что является одним из наиболее важных факторов успеха в криптовалютной отрасли. Это включает в себя защиту данных и средств пользователей, меры по предотвращению мошенничества и кибератак, а также строгие правила и процедуры проверки личности.
- Широкий выбор криптовалют: Ехто предлагает широкий выбор криптовалют для торговли, что делает платформу привлекательной для различных пользовательских групп. Кроме того, платформа обеспечивает быстрое исполнение операций и высокую ликвидность, что делает ее более привлекательной для трейдеров.
- Удобный интерфейс: платформа компании имеет простой и интуитивно понятный интерфейс, который облегчает использование

платформы как новым, так и опытным пользователям. Это делает Ехто привлекательной для большого числа пользователей со всего мира.

- Привлекательные условия для пользователей: Ехто предлагает низкие комиссии на торговлю, что делает платформу привлекательной для пользователей, которые ищут доступный способ торговли криптовалютами. Кроме того, Ехто предоставляет различные возможности для заработка дополнительного дохода, например, через программы реферальной маркетинга.
- Система поддержки пользователей: компания имеет эффективную систему поддержки пользователей, которая обеспечивает быстрое и профессиональное решение любых вопросов и проблем пользователей. Это помогает удерживать пользователей на платформе и повышает уровень доверия к компании.

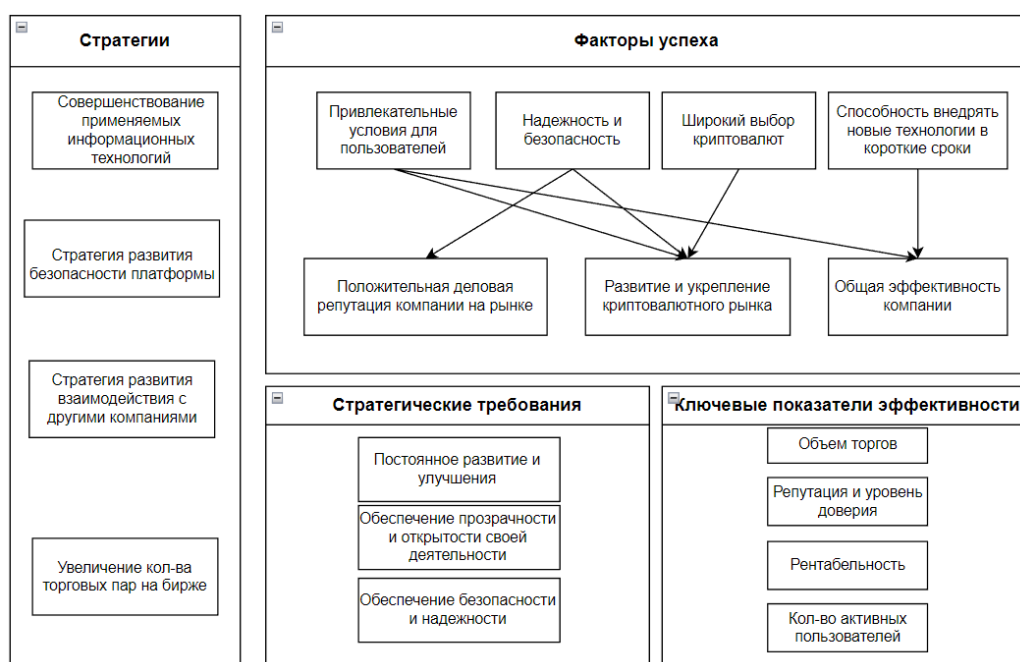


Рисунок 9 – Ключевые факторы успеха компании¹⁰

¹⁰ Составлено автором по: [90]

На рисунке 10 представлена архитектура бизнес-процессов компании Ехмо.

Бизнес-процессы компании Ехмо представлены в виде трех уровней:

- процессы управления;
- основные процессы;
- обеспечивающие процессы.

К процессам управления относятся следующее: управление финансами, управление рисками, управление персоналом. К основным процессам: операции по покупке/продаже криптовалют, ордера на покупку/продажу, управление финансовым портфелем, техническая поддержка сотрудников, а также техническая поддержка платформы компании. К обеспечивающим процессам относятся: юридическое обеспечение, кадровое обеспечение, ИТ-обеспечение, обеспечение безопасности.



Рисунок 10 – Архитектура бизнес-процессов компании Ехмо¹¹

¹¹ Составлено автором по: [90]

Соотношение бизнес-функций компании с её бизнес-процессами представлено на рисунке 11.

На основании рисунка 11 процессы управления компании Exmo направлены на управление основной деятельности, основные процессы компании направлены на обеспечение операций по покупке/продаже криптовалют, а обеспечивающие процессы направлены на обеспечение функционирования процессов компании.

Компания Exmo имеет типичную для финансово-технической компании структуру управления, которая состоит из следующих ключевых подразделений:

- руководство, генеральный директор и его заместители, которые отвечают за стратегическое управление компанией и принимают ключевые решения;
- отделы разработки продуктов и инженерии, отвечают за разработку и обслуживание платформы Exmo, а также за создание новых продуктов и функций на основе анализа данных пользователей и требований рынка, также отвечают за техническую поддержку и безопасность системы;
- отдел маркетинга и PR, занимается продвижением бренда Exmo, увеличением базы пользователей и улучшением пользовательского опыта, отвечают за проведение маркетинговых кампаний, управление социальными медиа, организацию мероприятий и работу с блогерами и журналистами;
- отдел операций и поддержки клиентов, отвечает за обработку запросов пользователей, включая техническую поддержку, управление тикетами¹² и онлайн-чат, также отвечают за проверку

¹² Тикет – это инцидент или обращение конечного пользователя, которое содержит набор полей описывающие его [?].

личности и безопасность пользователей, а также за управление рисками на платформе;

- отдел финансов и бухгалтерия, занимается управлением финансовыми ресурсами компании, включая учет расходов и доходов, выставление счетов и обслуживание банковских счетов;
- отдел юридических вопросов и конформности, отвечает за соблюдение правил и законов, которые регулируют операции Ехто, а также, отвечают за создание договоров и разрешительных документов и оказывают помощь в юридических вопросах.

Структура управления компании Ехто представлена на рисунке 12.

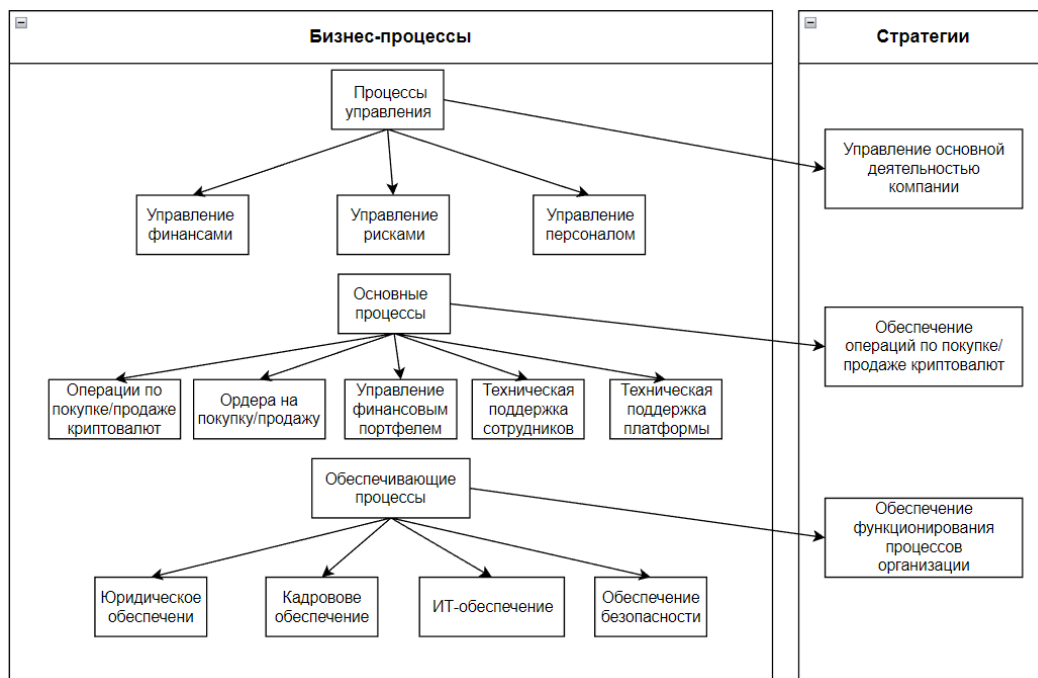


Рисунок 11 – Связь бизнес-функций и бизнес-процессов¹³

¹³ Составлено автором по: [90]

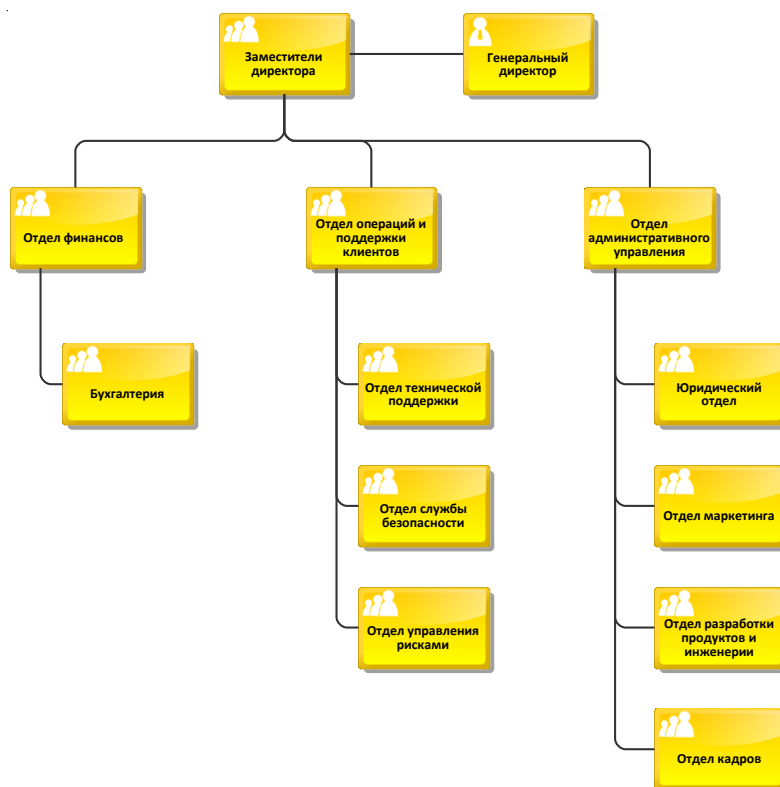


Рисунок 12 – Структура управления компании Exmo¹⁴

Таким образом, в рамках текущей главы была изучена и рассмотрена внутренняя структура компании Exmo. Были рассмотрены такие аспекты как, миссия, цели, задачи, факторы успеха, бизнес-процессы компании, а также, их связь с бизнес-функциями. Полная модель компании изображена на рисунке 13.

¹⁴ Составлено автором по: [90]

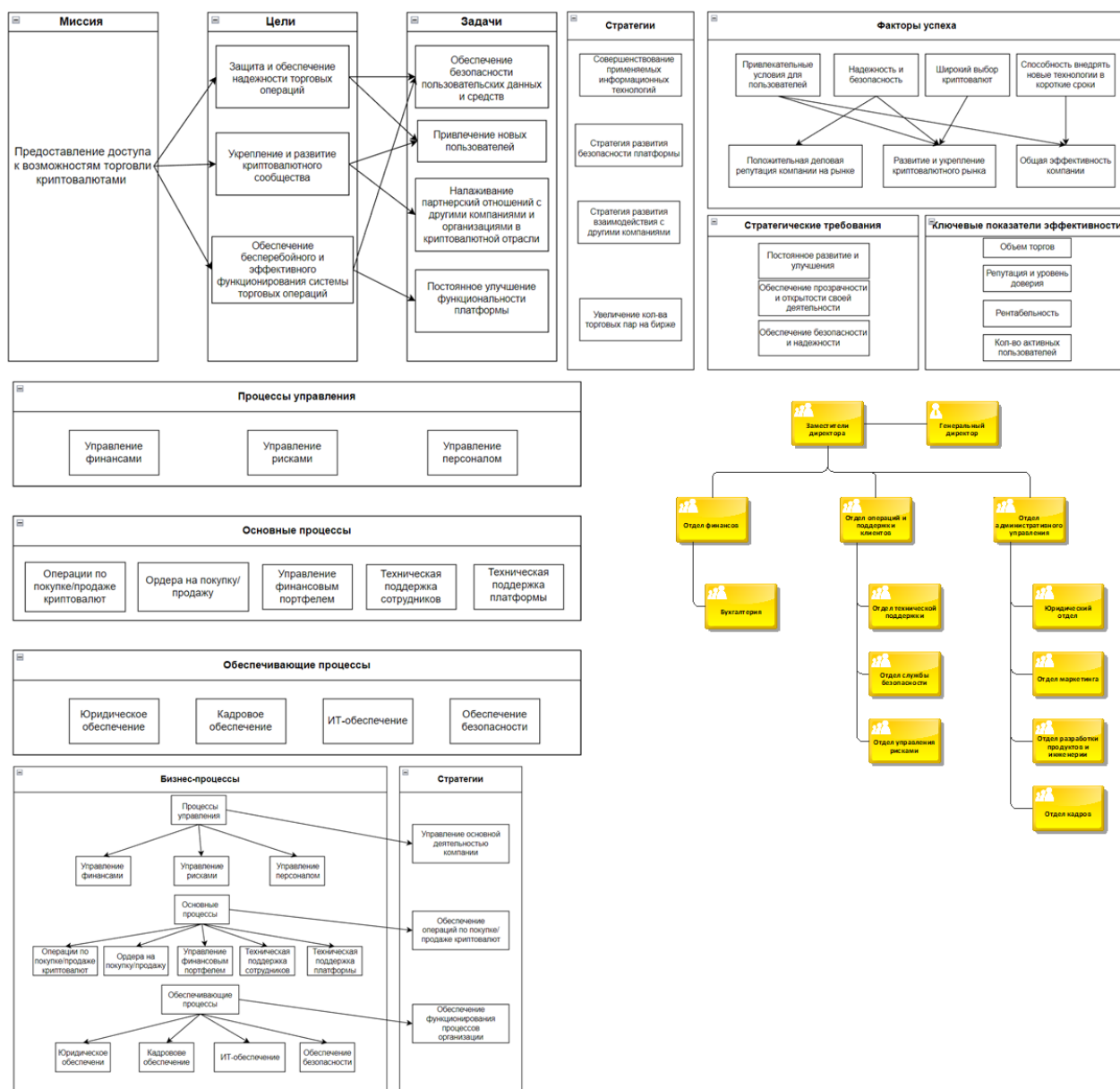


Рисунок 13 – полная модель компании Exmo¹⁵

2.4. Описание бизнес-процесса AS-IS

Бизнес-процесс – это последовательность действий, которые выполняются в рамках организации с целью достижения определенного результата. Это может быть процесс производства товаров или услуг, процесс продажи продукции, процесс управления персоналом и так далее. Бизнес-процесс может включать в себя множество шагов, каждый из которых

¹⁵ Составлено автором по: [90]

выполняется определенным специалистом или группой сотрудников, и может зависеть от других процессов в компании. Правильное проектирование и оптимизация бизнес-процессов позволяет компании повысить эффективность работы и улучшить качество продукции или услуг, что приводит к увеличению прибыли и удовлетворенности клиентов. Для управления бизнес-процессами используются различные методы и инструменты, такие как BPMN (Business Process Model and Notation), Lean Six Sigma, Kaizen и другие.

Модель бизнес-процесса – это графическое представление последовательности действий, необходимых для выполнения определенного бизнес-процесса. Она позволяет увидеть участников процесса, их роли, взаимодействие между ними, а также поток информации и материалов.

AS-IS («как есть») – это состояние бизнес-процесса на данный момент без внесения изменений. Термин часто используется в контексте анализа и улучшения бизнес-процессов. AS-IS позволяет описать текущее состояние процесса, выделить его особенности, проблемы и возможные улучшения. Это дает возможность оценить эффективность работы компании и определить направления для ее улучшения.

Для сокращения нагрузки на трейдинг-специалистов, а также для уменьшения времени на анализ рынка и определения оптимальных точек входа и выхода из торговых позиций и дальнейшей автоматизации данного процесса, необходимо построить и рассмотреть модель AS-IS.

Для построения модели AS-IS был изучен процесс торговли трейдинг-специалистом от сбора данных до оценки результатов торговой сессии. На рисунке 15 изображена модель AS-IS процесса.

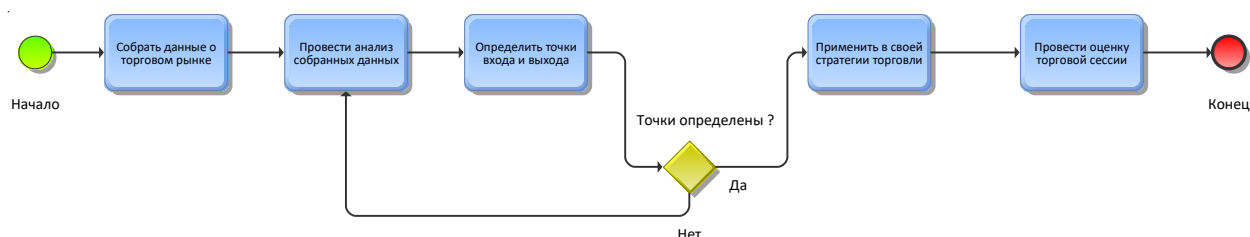


Рисунок 15 – Модель бизнес-процесса AS-IS¹⁶

В рассматриваемом процессе исполнителем является трейдинг-специалист, процесс торговли которого состоит из следующих этапов:

- сбор данных о рынке: трейдинг-специалисты компании Exmo могут собирать данные о текущих ценах на различные активы, объемах торгов, новостях по отношению к активам и других факторах, которые могут повлиять на цену;
- анализ данных: используя полученные данные, специалисты проводят анализ рынка, чтобы определить текущую тенденцию, потенциальные уровни поддержки и сопротивления, а также возможные факторы, которые могут повлиять на цены в будущем;
- определение оптимальных точек входа и выхода: после анализа рынка трейдинг-специалисты могут определить оптимальную точку входа в позицию (например, купить актив), а также оптимальную точку выхода из позиции (например, продать актив), основываясь на своих знаниях и опыте;
- применение собранных данных в своей стратегии торговли: на основе данных анализа и определения оптимальных точек входа и выхода, трейдинг-специалисты могут разработать стратегию торговли, которая может включать в себя параметры такие как размер позиции, уровень стоп-лосса и так далее;
- оценка результатов: в конце торговой сессии, трейдинг-специалисты проводят оценку результатов своих торговых действий, для того чтобы определить эффективность их стратегий и внести соответствующие корректировки в будущем.

По результатам представленной модели AS-IS можно сделать вывод:

¹⁶ Составлено автором по: [90].

- необходимо сократить время на сбор данных, анализ рынка для определение оптимальных точек входа и выхода из торговых позиций;
- следует улучшить качество определения точек входа и выхода, дабы уменьшить время на последующую корректировку стратегии торговли.

2.5. Результаты и вывода второй главы

В данном разделе был проведен анализ средств для разработки проекта, также описана предлагаемая торговая стратегия и существующие на данный момент. Подробно описаны библиотеки и пакеты для используемого для разработки проекта языка программирования Python. Представлена и рассмотрена внутренняя структура компании Exmo. Были рассмотрены такие аспекты как, миссия, цели, задачи, факторы успеха, бизнес-процессы компании, а также, их связь с бизнес-функциями. Был разработан алгоритм торговой стратегии. Была построена модель бизнес-процесса AS-IS, с помощью которой была выявлена и указана проблема, решением которой является разработка торговой стратегии на основе алгоритмов машинного обучения.

3. РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО ТОРГОВУЮ СТРАТЕГИЮ

3.1. Описание бизнес-процесса ТО-ВЕ

ТО-ВЕ (англ. «to be», что означает «быть») – это конечное состояние, к которому стремятся прийти в рамках проекта или изменений в бизнес-процессах.

Процессы, обнаруженные в ходе анализа модели AS-IS, оптимизируются путем построения модели ТО-ВЕ. Модель ТО-ВЕ является необходимым инструментом для разработки стратегии изменений и планирования работы над проектом. Она позволяет увидеть текущие проблемы и возможности для улучшения процессов, а также определить, какие изменения необходимо внести для достижения поставленных целей.

С помощью модели ТО-ВЕ без проблем можно определить и оценить эффективность использования ресурсов после предложенного алгоритма, так как модель четко распределит ресурсы между операциями бизнес-процессов.

Изменения от внедряемой системы представлены рисунке 16.

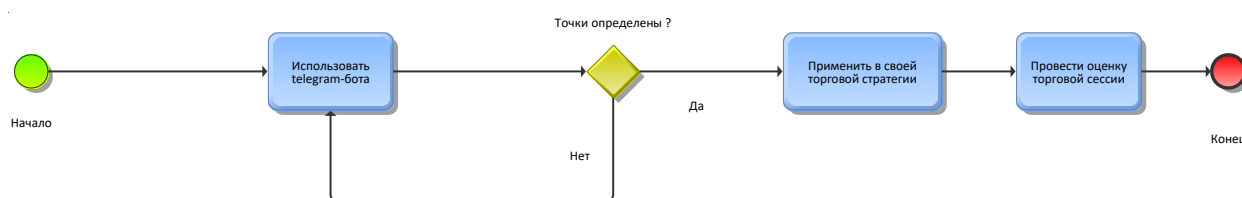


Рисунок 16 – Модель бизнес-процесса ТО-ВЕ¹⁷

Рассмотрим алгоритм работы трейдинг-специалиста после изменений от внедряемого приложения:

- использование разработанного Telegram-бота для сбора, анализа данных и автоматического определения точек входа и выхода из торговых позиций

¹⁷ Составлено автором по [90]

- применение собранных данных в своей стратегии торговли: на основе данных анализа и определения оптимальных точек входа и выхода, трейдинг-специалисты могут разработать стратегию торговли, которая может включать в себя параметры такие как размер позиции, уровень стоп-лосса и так далее;
- оценка результатов: в конце торговой сессии, трейдинг-специалисты проводят оценку результатов своих торговых действий, для того чтобы определить эффективность их стратегий и внести соответствующие корректировки в будущем.

Таким образом, после введения системы для определения точек входа и выхода из торговых позиций (Telegram-бота), процесс в модели AS-IS оптимизируется и сделает работу трейдинг-специалиста удобнее, а скорость совершения торговой деятельности возрастет.

3.2. Разработка приложения, реализующего торговую стратегию на основе алгоритмов машинного обучения

Разработку проекта можно разделить на пять основных этапов:

- разработка и применение методов автоматического сбора данных для получения котировок криптовалют с торговой биржи, получения новостных записей для проведения анализа настроений, а также получение технических индикаторов;
- обработка данных и их подготовка для применения к ним алгоритмов и моделей машинного обучения;
- применение алгоритмов машинного обучения для предсказания цены криптовалют, эмоциональной метки новостных данных;
- обработка полученных результатов, и формирование торговых сигналов (торговой стратегии) на их основании, а также, на основании технических индикаторов;
- разработка Telegram-бота для автоматизации процесса получения рекомендаций по принятию инвестиционных решений.

Перед построением моделей машинного обучения были написаны программные средства для сбора информации с торговой биржи Binance, а именно котировки торговой пары BTC/USDT в период с 01.01.2022 по 05.05.2023. Полученные данные имеют вид OHLC (рисунок 17), параметры полученных данных представлены в таблице 1.

Time. Данные показывают дату, в рамках которой, происходили изменения торговой свечи.

Open. Показатель значения цены открытия торговой свечи.

High. Показатель значения максимальной цены торговой свечи.

Low. Показатель значения минимальной цены торговой свечи.

Close. Показатель значения цены закрытия торговой свечи.

	open_time	open	high	low	close	volume	close_time
0	1640995200000	46216.93000000	47954.63000000	46208.37000000	47722.65000000	19604.46325000	1641081599999
1	1641081600000	47722.66000000	47990.00000000	46654.00000000	47286.18000000	18340.46040000	1641167999999
2	1641168000000	47286.18000000	47570.00000000	45696.00000000	46446.10000000	27662.07710000	1641254399999
3	1641254400000	46446.10000000	47557.54000000	45500.00000000	45832.01000000	35491.41360000	1641340799999
4	1641340800000	45832.01000000	47070.00000000	42500.00000000	43451.13000000	51784.11857000	1641427199999
...	...	...	...	...	...	...	...
485	1682899200000	29233.20000000	29337.34000000	27666.95000000	28068.26000000	64433.65958000	1682985599999
486	1682985600000	28068.26000000	28879.88000000	27872.00000000	28669.86000000	50824.52240000	1683071999999
487	1683072000000	28669.85000000	29266.66000000	28113.69000000	29026.16000000	64615.79213000	1683158399999
488	1683158400000	29026.16000000	29379.83000000	28663.64000000	28838.16000000	42575.47501000	1683244799999
489	1683244800000	28838.16000000	29531.00000000	28819.77000000	29133.57000000	23080.51059000	1683331199999

Рисунок 17 – Общий вид полученных котировок в необработанном виде

Таблица 1-Параметры собранных данных котировок и их пример

time	open	high	low	close
2022-01-01	46216	47954	46208	47722

Далее, над полученными данными был проведен первичный анализ данных и формирован готовый для работы датасет (рисунок 18).

	open_time	open	high	low	close
0	2022-01-01	46216	47954.63000000	46208.37000000	47722
1	2022-01-02	47722	47990.00000000	46654.00000000	47286
2	2022-01-03	47286	47570.00000000	45696.00000000	46446
3	2022-01-04	46446	47557.54000000	45500.00000000	45832
4	2022-01-05	45832	47070.00000000	42500.00000000	43451
...	...	...	...	...	...
485	2023-05-01	29233	29337.34000000	27666.95000000	28068
486	2023-05-02	28068	28879.88000000	27872.00000000	28669
487	2023-05-03	28669	29266.66000000	28113.69000000	29026
488	2023-05-04	29026	29379.83000000	28663.64000000	28838
489	2023-05-05	28838	29531.00000000	28819.77000000	29133

Рисунок 18 – Общий вид полученных котировок в обработанном виде

После чего, были написаны программные средства для сбора новостных данных с социальной площадки CryptoPanic в период с 15.04.2023 по 10.05.2023. Полученные данные имеют следующий вид (рисунок 19), параметры представлены на таблице 2.

Date. Значение даты, в рамках которой представлены новостные данные.

Currencies. Показатель, отвечающий за вид валюты.

Title. Данный параметр несет в себе текст новостной записи.

count	next	previous	results
0	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'finbold.com', 'vot...
1	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'theblock.co', 'vot...
2	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'beincrypto.com', '...
3	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'ambcrypto.com', 'v...
4	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'theblock.co', 'vot...
5	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'u.today', 'votes'...
6	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'finbold.com', 'vot...
7	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'finbold.com', 'vot...
8	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'bitcoinist.com', '...
9	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'zycrypto.com', 'vo...
10	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'ambcrypto.com', 'v...
11	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'finbold.com', 'vot...
12	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'theblock.co', 'vot...
13	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'coindesk.com', 'vo...
14	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'cointelegraph.com', '...
15	200 https://cryptopanic.com/api/v1/posts/?auth_tok...	None	{'kind': 'news', 'domain': 'beincrypto.com', '...

Рисунок 19 – Общий вид полученных новостных данных в необработанном виде

Таблица 2-Параметры собранных новостных данных и их пример

date	currencies	title
------	------------	-------

2023-04-15	BTC	\$50k Bitcoin imminent?
------------	-----	-------------------------

Далее, над полученными данными был проведен первичный анализ данных и сформирован готовый для работы датасет (рисунок 20).

	date	currencies	title
0	2023-04-15	BTC	Bitcoin: Why 'this analyst and metric' support...
1	2023-04-15	BTC	\$10,000,000,000,000 Market Cap for Bitcoin Can...
2	2023-04-15	BTC	\$50k Bitcoin imminent? Multiple indicators poi...
3	2023-04-15	BTC	Fight between crypto and governments "just get...
4	2023-04-15	BTC	ChatGPT asked Ray Dalio what's the 'Holy Grail...
5	2023-04-16	BTC	Trader Who Accurately Predicted 2023 Crypto Ra...
6	2023-04-16	BTC	Cardano Marks Historic Milestone as Non-Custod...
8	2023-04-16	BTC	Pundit Predicts Bitcoin's Next Price Move as A...
9	2023-04-18	BTC	The Biggest Crypto Bull Cycle Is Upon Us: Bern...
10	2023-04-18	BTC	Charles Hoskinson Says Cardano Bitcoin (cBTC) ...
14	2023-04-19	BTC	Australia installs more Bitcoin ATMs than whol...
16	2023-04-19	BTC	Bitcoin crashes into deep correction amid 'cas...
17	2023-04-20	BTC	CHINA LEGALIZES BITCOIN AND CRYPTO?!? Why this...
19	2023-04-21	BTC	Bitcoin Could Explode by Over 50% According to...
21	2023-04-21	BTC	Tether mints another billion USDT on Ethereum ...
22	2023-04-21	BTC	Telegram wallet users can now buy, withdraw an...
23	2023-04-21	BTC	This Week in Crypto News: Gary Gensler Caught ...

Рисунок 20 – Общий вид полученных котировок в обработанном виде

Далее была проведена дополнительная обработка данных котировок. Данные были преобразованы к удобному для нейронной сети виду. После чего сформированы тренировочный и тестовый датасеты, настроены параметры модели LSTM и проведено ее обучение. Далее данные были преобразованы к начальному виду и был построен график (рисунок 21), на котором зеленым цветом изображены предсказанные моделью данные, а черным цветом, тестовые данные. После чего был проведен анализ предсказанных данных с

помощью метрик ошибок (рисунок 22) таких как: RMSE, MSE, MAE, MAPE [44]. Результаты анализа показали, что, средняя абсолютная процентная ошибка между ценой закрытия (close), предсказанной моделью, и фактическими значением составляет 1.6 %.

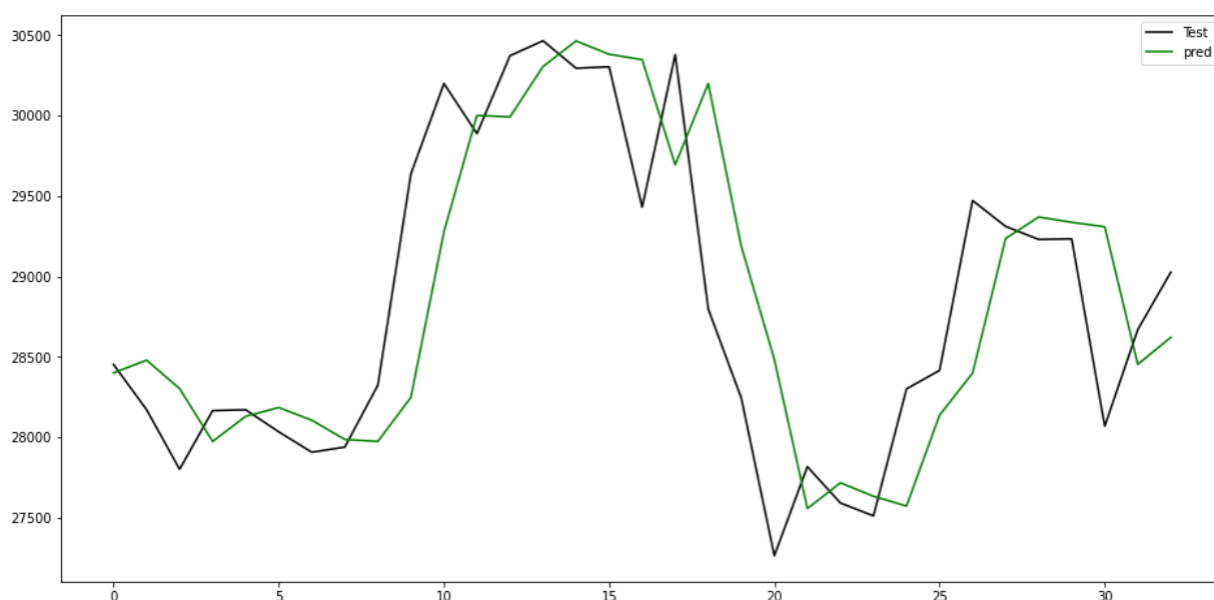


Рисунок 21 – График тестовых и предсказанных данных сетью LSTM

```

Train data RMSE: 995.9700751533624
Train data MSE: 991956.3906009943
Train data MAE: 643.0723207720588
Train data MAPE: 2.3769783420873734
-----
Test data RMSE: 624.9901543870803
Test data MSE: 390612.6930807865
Test data MAE: 454.5758759469697
Test data MAPE: 1.5775430961740806

```

Рисунок 22 – Анализ предсказанных данных с помощью метрик ошибок

После чего была получена цена закрытия на следующий день (06.05.2023) после последнего значения в исходном датасете (05.05.2023) и добавлена в исходный датасет как последний элемент, это было сделано для последующего переобучения модели, дабы попытаться скорректировать ее на возможные резкие изменения, так как криптовалюты BitCoin

высокочастотная, что влияет на ее нестабильное поведение на рынке. Первый этап работы по предсказанию цены закрытия на следующий день считается выполненным.

Далее была проведена работа над новостными данными и языковой моделью машинного обучения. Для обучения модели данные необходимо подготовить и привести к удобному для алгоритма машинного обучения виду. Изначально все данные были переведены в нижний регистр, далее удалены все знаки пунктуации, удалены стоп-слова (междометия, союзы и т. д.), далее была проведена нормализация текста при помощи методов: stemming¹⁸, lemmatizing¹⁹. После преобразования текста применяется Vader Lexicon Sentiment Intensity Analyzer для оценки полярности текста от -1 до 1, где -1 (более негативная), 0 нейтральная и 1 (более позитивная). После чего получаем оценку настроения наших новостных записей (рисунок 23).

	date	title	ds_score
0	2023-04-15	bitcoin analyst metric support btc long	Positive
1	2023-04-15	10000000000000 market cap bitcoin absolut happ...	Neutral
2	2023-04-15	50k bitcoin immin multipl indic point possibl ...	Positive
3	2023-04-15	fight crypto govern get start say shapeshift ceo	Negative
4	2023-04-15	chatgpt ask ray dalio what holi grail invest h...	Neutral
...	...	...	...
73	2023-05-09	ethereum stake reward rate hit postmerg record...	Positive
74	2023-05-10	cardano tap hydra undercut ethereum ga fee sky...	Negative
75	2023-05-10	here cardano could compet ethereum hydra layer...	Neutral
76	2023-05-10	ethereum ofaccompli block fall 27 mark drop pr...	Negative
77	2023-05-10	uk tax author grant power seiz bitcoin held ex...	Positive

Рисунок 23 – Новостные записи с меткой анализа настроения

После оценки настроения был получен следующий баланс классов (рисунок 24).

¹⁸ Stemming – это процесс удаления окончаний слов, чтобы получить основу слова (стэм) [46].

¹⁹ Lemmatizing – это процесс преобразования слова к его базовой форме (лемме), которая может быть использована как представитель для всех грамматических форм этого слова [46].

```

Positive    29
Negative    25
Neutral     24
Name: ds_score, dtype: int64

```

Рисунок 24 – Баланс классов настроения новостных записей

Далее, данные были разделены на обучающий и тестовый наборы для обучения модели классификации и на их основе обучено несколько моделей с использованием разных алгоритмов классификации, таких как [41]: логистическая регрессия, градиентный бустинг, векторная классификация линейной поддержки. Результаты модели были представлены в classification report (классификационный отчет) (рисунки 25-27).

```

MODEL: LINEAR SVC
accuracy score: 0.6396396396396397
Confusion matrix: [[4 1 8]
 [3 2 7]
 [3 5 6]]

```

	precision	recall	f1-score
Negative	0.74	0.65	0.70
Neutral	0.89	0.11	0.19
Positive	0.58	0.91	0.71
accuracy			0.64
macro avg	0.74	0.56	0.53
weighted avg	0.71	0.64	0.59

Рисунок 25 – Классификационный отчет алгоритма векторной линейной поддержки

```

MODEL: LOGISTIC REGRESSION
accuracy score: 0.5254549549549
Confusion matrix: [[4  2  6]
 [3  2  7]
 [1  3 10]]

```

	precision	recall	f1-score
Negative	0.74	0.56	0.60
Neutral	0.89	0.11	0.19
Positive	0.58	0.91	0.71
accuracy			0.52
macro avg	0.64	0.51	0.43
weighted avg	0.66	0.61	0.49

Рисунок 26 – Классификационный отчет алгоритма логистической регрессии

```

MODEL: Gradient Boosting
accuracy score: 0.5839733333333334
Confusion matrix: [[1  2 10]
 [1  5  6]
 [2  6  6]]

```

	precision	recall	f1-score
Negative	0.74	0.45	0.60
Neutral	0.69	0.21	0.29
Positive	0.58	0.71	0.61
accuracy			0.58
macro avg	0.67	0.46	0.43
weighted avg	0.71	0.54	0.51

Рисунок 27 – Классификационный отчет алгоритма градиентного бустинга

Из приведенного выше сравнения показателей можем подтвердить, что модель Linear SVC работает лучше, чем все другие модели и ее точность (accuracy) составляет 0.64, что является неплохим результатом, учитывая небольшое кол-во обучающих данных.

Далее для каждой метки настроения были присвоены метки классификации от 0 до 2, где 0 «Negative» значение, 1 «Neutral» значение, 2 «Positive» значение (рисунок 28). Второй этап работы, классификации новостных данных по настроению считается выполненным.

	date	title	ds_score	class
0	2023-04-15	bitcoin analyst metric support btc long	Positive	2
1	2023-04-15	10000000000000 market cap bitcoin absolut happ...	Neutral	1
2	2023-04-15	50k bitcoin immin multipl indic point possibl ...	Positive	2
3	2023-04-15	fight crypto govern get start say shapeshift ceo	Negative	0
4	2023-04-15	chatgpt ask ray dalio what holi grail invest h...	Neutral	1
...	...	...	...	...
73	2023-05-09	ethereum stake reward rate hit postmerg record...	Positive	2
74	2023-05-10	cardano tap hydra undercut ethereum ga fee sky...	Negative	0
75	2023-05-10	here cardano could compet ethereum hydra layer...	Neutral	1
76	2023-05-10	ethereum ofaccompli block fall 27 mark drop pr...	Negative	0
77	2023-05-10	uk tax author grant power seiz bitcoin held ex...	Positive	2

Рисунок 28 – Присвоение меток классов для меток настроения новостных данных

Следующим этапом работы было доказательство того, что настроение новостных данных влияет на изменение цены криптовалюты. Чтобы выявить влияние новостных данных на движение цены криптовалюты нужно определить корреляцию этих двух показателей. Так как данные находятся в разных числовых диапазонах, цена представлена в тысячах, а метки настроений имеют значения от 0 до 2, необходимо было преобразовать данные цен в тот же числовой диапазон что и классификационные метки настроений. Преобразованные данные представлены на рисунке 29.

56	0.503121
57	0.878277
58	1.101124
59	1.101124
60	1.101124

Рисунок 29 – Пример преобразованных данных цен криптовалюты

Далее для визуального анализа был построен график изменения цены криптовалюты от анализа настроений, где синим отображены значения анализа настроений, а оранжевым цены криптовалюты (рисунок 30).

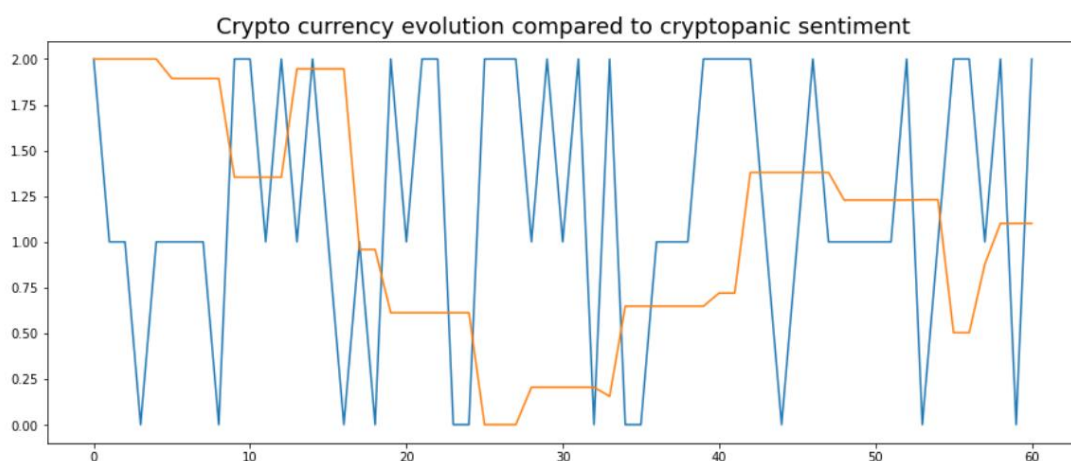


Рисунок 30 – График изменения цены криптовалюты от анализа настроений

Применение обычной корреляции в поставленной задаче недостаточно. Так как изменение цены происходит через определенный временной промежуток после метки данных анализа настроений, поэтому была использована кросс-корреляция. Разница в том, что кросс-корреляция добавляет задержку, которая позволяет сдвинуть один из временных рядов влево или вправо, чтобы найти лучшую корреляцию. Для оценки корреляции использовались: ранговая корреляция Спирмена, корреляция Пирсона. На данном этапе коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ) равен 0.27 и p -значение равно 0.023, что говорит нам о слабой позитивной корреляции, а также, из-того, что p -значение корреляции меньше 0.05, корреляция является статистически значимой. При корреляции Пирсона коэффициент корреляции равен 0.26 и p -значение равно 0.031 что говорит нам о слабой позитивной корреляции, а также, о том, что корреляция является статистически значимой.

С целью добиться лучшей корреляции было принято решение нормализовать данные (рисунок 31).

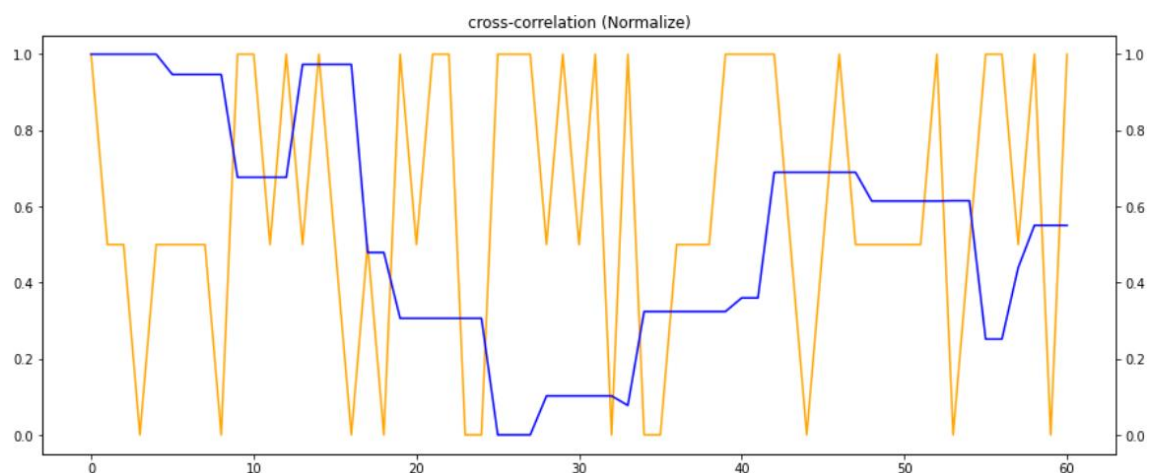


Рисунок 20 – График нормализованных данных

После нормализации данных значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена повысился до значения 0.33, а коэффициент корреляции Пирсона стал равен 0.31, что говорит о правильности дополнительной обработки данных. Далее была вычислена производная и данные приобрели следующий вид (рисунок 32).

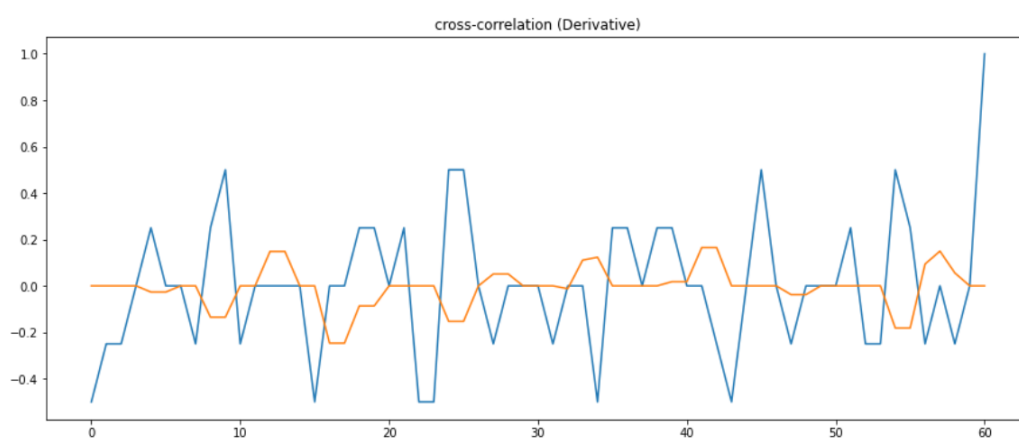


Рисунок 32 – Вид данных после вычисления производной

После вычисления производной данных получили следующие результаты корреляции: коэффициент Спирмена равен 0.502, а п-значение равно 0.0058, коэффициент Пирсона равен 0.453 и 0.0027 по п-значению соответственно. По итогам данного этапа было выяснено что изменение настроений влияет на изменение цен криптовалют с помощью таких показателей корреляции как: ранговый коэффициент Спирмена и

коэффициент Пирсона. Также, так как в обоих случаях p -значение меньше, чем 0.05 корреляция является статистически значимой.

Данное доказательство дает нам возможность использовать анализ настроений для генерации торговых сигналов для торговой стратегии.

После обработки данных и получения необходимых нам предсказаний формируется алгоритм (торговая стратегия):

Генерируется сигнал на основе предсказаний значения временного ряда (если его точность выше 50%), данный сигнал действует в течение 24 часов.

Генерируется сигнал на основе анализа настроения (действует в течение 24 часов), если этот сигнал имеет одинаковое направление с сигналом предсказания временного ряда, то можно считать его как подтверждение первого торгового сигнала.

С помощью технических индикаторов получаем время входа в торговую позицию, обычно это то место, где индикаторы часовых интервалов и минутных находятся в одном направлении (на основании мульти-таймфрейм стратегии), в этом случае основной сигнал и сигналы настроения поддерживают сигнал технических индикаторов.

Условия генерации сигнала на открытие торговой позиции: сигналы, полученные с помощью вычислений моделей машинного обучения и сетей ИИ, указывают на рост цены в течение 24 часов; значения технических индикаторов должны быть на покупку и совпадать как на часовом периоде, так и на минутном. Если все условия соблюдены, сигнал на открытие торговой позиции отправляется в канал Telegram-бота.

Для тестирования стратегии был написан алгоритм, на основе которого проводится проверка после открытия торговой позиции со значением тейк-профита и значением стоп-лосса (в рамках тестирования значение тейк-профита установлено в 3%, стоп-лосса в 3%). Данные сверяются с

котировками цен с платформы Binance каждые пять минут, временной промежуток для запросов по API был выбран с учетом действующих ограничений платформы на количество запросов.

Условия закрытия торговой позиции:

- если достигнут уровень тейк-профита, то закрываем позицию, считая сигнал на открытие успешным;
- если за 24 часа (срок действия сигналов на основе машинного обучения) значение прибыли не достигло тейк-профита, но мы имеем положительный доход, то закрываем позицию и считаем сигнал на открытие успешным;
- если достигнут уровень стоп-лосса, то закрываем позицию, считая сигнал на открытие неуспешным;
- если за 24 часа значение прибыли не достигло стоп-лосса, но мы имеем отрицательный доход, то закрываем позицию, считая сигнал на открытие не успешным.

Для автоматизации полученной стратегии был разработан Telegram-бот, с помощью которого, как в ручном режиме можно получить торговые сигналы на основе вышеописанной стратегии, так и в режиме автоматической рассылки. Алгоритм работы Telegram-бота представлен на рисунке 33. Пример работы Telegram-бота представлен на рисунке 34.

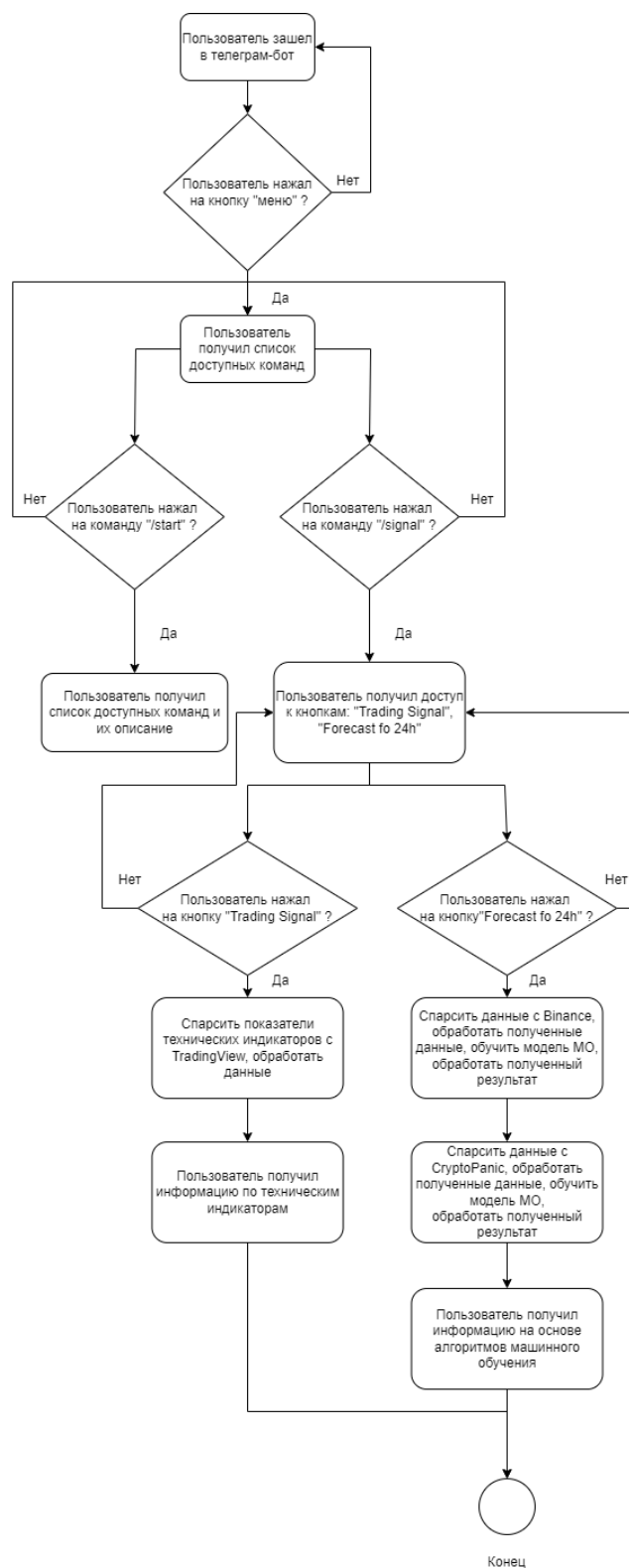


Рисунок 33 – Алгоритм работы Telegram-бота для получения торговых СИГНАЛОВ



Рисунок 34 – Пример работы Telegram-бота

Разработанный инструмент позволяет значительно сократить время для анализа рынка криптовалют и получать на его основании рекомендации для принятия торговых решений.

3.3. Оценка экономической эффективности разработанного программного обеспечения

Для подсчета экономической эффективности использовались следующие показатели:

- Средняя прибыль от одной успешно закрытой позиции – 800 руб.
- Среднее время на сбор и анализ данных – 20 минут
- Время работы трейдинг-специалиста в неделю – 40 часов
- Время, необходимое для сбора и анализа данных, может значительно варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как тип торгуемых активов, используемые инструменты и методы анализа. В целом, процесс сбора и анализа данных может занять от нескольких минут до нескольких часов – 6 минут

- Процесс автоматического определения точек входа и выхода из торговых позиций – 3 минуты

$$\text{Кол – во сделок при ручном определении точек} = \frac{40 \cdot 60}{20} = 120 \quad (4)$$

$$\text{Кол – во сделок при автоматическом определении точек} = \frac{40 \cdot 60}{20 - (6 - 3)} = 141 \quad (5)$$

$$\text{Прибыль в месяц до внедрения} = 120 \cdot 800 \cdot 4 = 384000 \quad (6)$$

$$\text{Прибыль в месяц после внедрения} = 141 \cdot 800 \cdot 4 = 451200 \quad (7)$$

$$\text{Дополнительная прибыль в месяц} = 480000 - 384000 = 67200 \quad (8)$$

Затраты на внедрение:

- Хостинг с вычислительными ресурсами – 400000 руб.
- Развертывание и администрация базы данных – 300000 руб.
- Техническое обслуживание системы – 200000 руб.

Итого затраты на внедрение – 900000 руб.

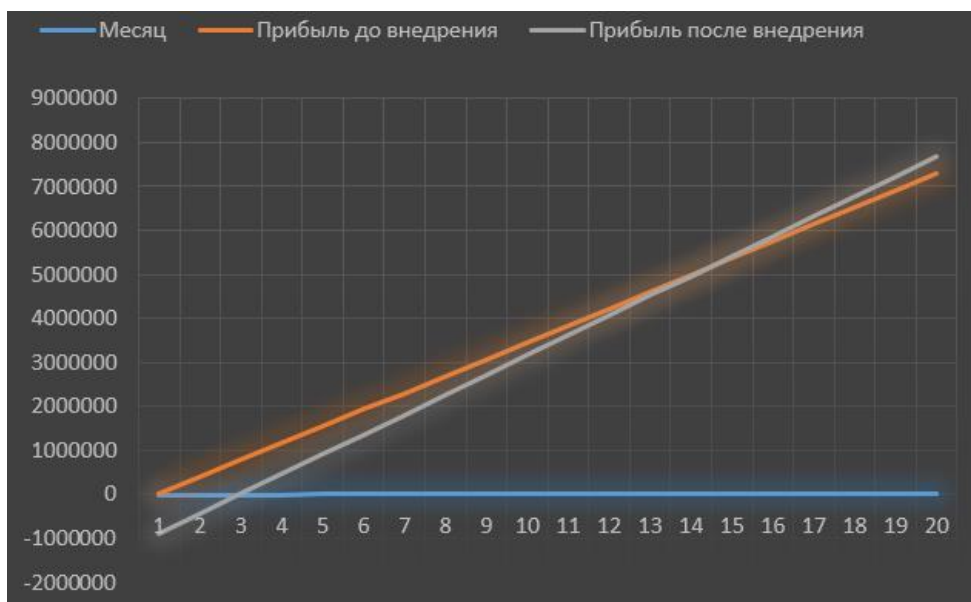


Рисунок 35 – График прибыли²⁰

На рисунке 35 видно, что прибыль после внедрения Telegram-бота для автоматического нахождения точек входа и выхода из торговых позиций

²⁰ Составлено автором

превышает текущую на 15-й месяц. А через полтора года после внедрения, прибыль будет превышать уже на 300 тысяч рублей. Это говорит о том, что проект является экономически эффективным.

3.4. Результаты и выводы третьей главы

В данной главе был рассмотрен процесс ТО-ВЕ после внедрения Telegram-бота для автоматического определения точек входа и выхода торговых позиций, рассмотрены его преимущества.

Была рассмотрена практическая реализация проекта, представлен алгоритм формирования торговых сигналов, а также продемонстрирован алгоритм работы Telegram-бота в виде блок-схемы, как системы, реализующей функционал торговой стратегии.

В завершении главы была проведена оценка экономической эффективности, где были указаны основные показатели для расчетов, были представлены расчеты количества сделок при ручном и автоматизированном определении точек входа и выхода торговых позиций, прибыль в месяц до и после внедрения, дополнительная прибыль в месяц, также, были указаны затраты на внедрение. В среднем автоматизированный процесс определения точек входа и выхода из торговых позиций быстрее в 2 раза чем при ручном определении, а количество сделок увеличится примерно на 17.5%. Был продемонстрирован график прибыли, вследствие чего был сделан вывод о том, что точка окупаемости разработки будет на 15-м месяце после внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации был проведен подробный анализ предметной области, рассмотрены научные исследования, в которых представлены и описаны методы работы с временными рядами и работа с анализом настроений, а также представлено их практическое применение для предсказания цен криптовалют. Данные результаты были собраны главным образом для того, чтобы акцентировать внимание на существующей проблеме необходимости улучшить точность торговых сигналов, путем улучшения качества используемых алгоритмов машинного обучения, на основе изученных работ были выбраны методы машинного обучения и искусственного интеллекта для предсказания цен закрытия котировок криптовалют: LSTM, Facebook Prophet, с целью улучшить качество предсказанных данных на однодневном временном периоде. Данные методы выбраны из-за своей высокой предсказательной точностью, а также скоростью работы. Для классификации настроений новостных данных были выбраны такие методы как: LinearSVC, логистическая регрессия, GradientBoosting, с целью улучшить точность классифицируемых данных, путем использования входных данных из специализированных источников по криптороторговле. Также, для автоматизации процессов сбора, анализа данных и формирования на основе их рекомендаций по принятию инвестиционных решений, была выбрана разработка Telegram-бота, как системы, реализующей весь основной функционал используемых методов торговой стратегии.

Во второй главе был проведен анализ средств для разработки проекта, также описана предлагаемая торговая стратегия и существующие на данный момент. Подробно описаны библиотеки и пакеты для используемого в разработке языка Python. Представлено и рассмотрена внутренняя структура компании Ехто. Были рассмотрены такие аспекты как, миссия, цели, задачи, факторы успеха, бизнес-процессы компании, а также, их связь с бизнес-

функциями. Был разработан алгоритм торговой стратегии. Была построена модель бизнес-процесса AS-IS, с помощью которой была выявлена и указана проблема, решением которой является разработка торговой стратегии на основе алгоритмов машинного обучения.

В третьей главе была рассмотрена практическая реализация проекта, а именно рассмотрен бизнес-процесс компании после внедрения предлагаемой разработки, представлен алгоритм торговой стратегии, а также продемонстрирован алгоритм работы Telegram-бота в виде блок-схемы. В завершении главы была проведена оценка экономической эффективности, где были указаны основные показатели для расчетов, были представлены расчеты количества сделок при ручном и автоматизированном определении точек входа и выхода торговых позиций, прибыль в месяц до и после внедрения, дополнительная прибыль в месяц, также, были указаны затраты на внедрение. В среднем автоматизированный процесс определения точек входа и выхода из торговых позиций быстрее в 2 раза чем при ручном определении, а количество сделок увеличится примерно на 17.5%. Был продемонстрирован график прибыли, вследствие чего был сделан вывод о том, что точка окупаемости разработки будет на 15-м месяце после внедрения, в результате чего было доказано, что разработка полностью окупит себя, следовательно, проект экономически эффективен и может быть внедрен.

В итоге выпускной квалификационной работы можно сделать вывод о том, что, используя передовые технологии возможно разработать инструмент для повышения эффективности торговли криптовалютой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aurélien Géron Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems. – O'Reilly Media, Inc., 2019. 791–796
2. Kevin P. Murphy Machine Learning: A Probabilistic Perspective – MIT Press, 2012. 999–1005.
3. Бурков Андрей Машинное обучение без лишних слов. – Питер, 2020. – 81–89.
4. Christopher M. Bishop Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 365–401.
5. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 477–493.
6. Richard S. Sutton, Andrew G. Barto Reinforcement Learning, second edition: An Introduction. – MIT Press, 2018. – 243–258.
7. Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili Python Machine Learning. – Packt Publishing Ltd, 2017. – 458–471.
8. David Barber Bayesian Reasoning and Machine Learning. – Cambridge University Press, 2012. – 323–333.
9. Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. – Elsevier, 2011. – 195–237.
10. Max Kuhn, Kjell Johnson Applied Predictive Modeling. - Springer Science & Business Media, 2013. – 99–125.
11. Part of Topic Cluster TC.84 - Cryptography; Authentication; Data Privacy // scival: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scival.com/trends/summary?uri=Topic/1109974> (дата обращения: 17.04.2023).
12. Индикаторы, показатели и стратегии // tradingview: [Электронный ресурс] – URL:

<https://ru.tradingview.com/chart/ia7TWunA/?symbol=BITSTAMP%3ABTCUSD> (дата обращения: 17.04.2023).

13. Применение индикаторов технического анализа на российском фондовом рынке // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-indikatorov-tehnicheskogo-analiza-na-rossiyskom-fondovom-rynke/viewer> (дата обращения: 18.05.2022).
14. Как устроены технические индикаторы на фондовых рынках // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/articles/419239/> (дата обращения: 18.05.2023).
15. 5 основных индикаторов, использующихся в техническом анализе // Binance academy: [Электронный ресурс] – URL: <https://academy.binance.com/ru/articles/5-essential-indicators-used-in-technical-analysis> (дата обращения: 19.05.2023).
16. Скользящие средние (МА и ЕМА) // tinkoff: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.tinkoff.ru/invest/help/educate/trading/about/ma-ema/> (дата обращения: 18.05.2023).
17. Принцип Работы Индикатора MACD // Binance academy : [Электронный ресурс] – URL: <https://academy.binance.com/ru/articles/macd-indicator-explained> (дата обращения: 17.05.2023).
18. Руководство для начинающих. Стратегии торговли криптовалютами // Binance academy: [Электронный ресурс] – URL: <https://academy.binance.com/ru/articles/a-beginners-guide-to-cryptocurrency-trading-strategies> (дата обращения: 19.05.2023).
19. Поиск неэффективностей: что нужно знать о создании стратегий для торговли на бирже // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/companies/iticapital/articles/279321/> (дата обращения: 20.05.2023).

20. «Криптовалюта для чайников». Не связывайся с блокчейном без этих знаний // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/articles/679242/> (дата обращения: 20.05.2023).
21. Криптовалюта: эволюция становления и перспектива развития // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriptovalyuta-evolyutsiya-stanovleniya-i-perspektiva-razvitiya/viewer> (дата обращения: 19.05.2023).
22. Что такое криптовалюта // Binance academy: [Электронный ресурс] – URL: <https://academy.binance.com/ru/articles/what-is-a-cryptocurrency> (дата обращения: 19.05.2023).
23. Блокчейн-технологии. Руководство для начинающих // Binance academy: [Электронный ресурс] – URL: <https://academy.binance.com/ru/articles/what-is-blockchain-technology-a-comprehensive-guide-for-beginners> (дата обращения: 15.05.2023).
24. Блокчейн: как он работает, и почему эта технология изменит мир // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/companies/iticapital/articles/340992/> (дата обращения: 16.05.2023).
25. Понятие блокчейн и возможности его использования // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-blokcheyn-i-vozmozhnosti-ego-ispolzovaniya/viewer> (дата обращения: 16.05.2023).
26. Анализ финансовых ботов, можно ли заработать? // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/articles/654165/> (дата обращения: 17.05.2023).
27. Биржевые торговые роботы в условиях информационного общества // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/birzhevye-torgovye-roboty-v-usloviyah-informatsionnogo-obschestva/viewer> (дата обращения: 13.05.2023).

28. Торговые роботы на фондовом рынке - что это такое и как ими пользоваться // Finam: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.finam.ru/publications/item/torgovye-roboty-na-fondovom-rynke-cto-eto-takoe-i-kak-imi-polzovatsya-20210312-11130/> (дата обращения: 14.05.2023).
29. Python: что это за язык программирования и где его применять // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/python/> (дата обращения: 14.05.2023).
30. R (язык программирования): что это такое простыми словами // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/yazyk-r/> (дата обращения: 13.05.2023).
31. Язык программирования C++: плюсы и минусы, кому нужен и в каких задачах используется // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/cplus-komu-i-dlya-chego-nuzhen/> (дата обращения: 13.05.2023).
32. Java: что это такое, где применяется // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/java/> (дата обращения: 11.05.2023).
33. Scala (язык программирования): где и в каких задачах применяется каких // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/scala/> (дата обращения: 10.05.2023).
34. Matlab (язык программирования): описание и особенности // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/matlab/> (дата обращения: 10.05.2023).
35. Машинное обучение // Yandex academy: [Электронный ресурс] – URL: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/mashinnoye-obucheniye> (дата обращения: 16.05.2023).
36. Типы машинного обучения // Proglib: [Электронный ресурс] – URL: <https://proglib.io/p/mashinnoe-obuchenie-dlya-nachinayushchih-osnovnye->

- ponyatiya-zadachi-i-sfera-primeneniya-2021-08-29 (дата обращения: 12.05.2023).
37. Как работает нейронная сеть // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/nejronnaya-set/> (дата обращения: 12.05.2023).
 38. Нейронные сети: как работают и где используются // GeekBrains: [Электронный ресурс] – URL: <https://gb.ru/blog/nejronnye-seti/> (дата обращения: 15.05.2023).
 39. Предиктивная аналитика данных – моделирование и валидация // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/articles/428321/> (дата обращения: 11.05.2023).
 40. LSTM – сети долгой краткосрочной памяти // Хабр: [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/companies/wunderfund/articles/331310/> (дата обращения: 11.05.2023).
 41. Prophet – forecasting at scale // Github: [Электронный ресурс] – URL: <https://facebook.github.io/prophet/> (дата обращения: 14.05.2023).
 42. NLP (Natural Language Processing) - обработка естественного языка // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/nlp/> (дата обращения: 09.05.2023).
 43. Контролируемое обучение: основы классификации и основные алгоритмы // machinelearningmastery: [Электронный ресурс] – URL: <https://machinelearningmastery.ru/supervised-learning-basics-of-classification-and-main-algorithms-c16b06806cd3/> (дата обращения: 09.05.2023).
 44. Pandas documentation // pydata: [Электронный ресурс] – URL: <https://pandas.pydata.org/docs/> (дата обращения: 10.05.2023).
 45. NumPy Documentation // numpy: [Электронный ресурс] – URL: <https://numpy.org/doc/> (дата обращения: 10.05.2023).

46. Scikit-learn user guide // scikit-learn: [Электронный ресурс] – URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (дата обращения: 11.05.2023).
47. Keras API reference // keras: [Электронный ресурс] – URL: <https://keras.io/api/> (дата обращения: 09.05.2023).
48. NLTK 3.2.5 documentation // nltk: [Электронный ресурс] – URL: <https://nltk.readthedocs.io/en/stable/> (дата обращения: 09.05.2023).
49. Совместное применение модели линейной регрессии и нейронной сети в задаче предсказания тренда котировок криптовалюты bitcoin // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovmestnoe-primenenie-modeli-lineynoy-regressii-i-neyronnoy-seti-v-zadache-predskazaniya-trenda-kotirovok-kriptovalyuty-bitcoin/viewer> (дата обращения: 19.05.2023).
50. Price Prediction and Notification System for cryptocurrency Share Market Trading // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85124689888&origin=inward&txGid=62a2129308be42093b7a78c0b2432929> (дата обращения: 14.05.2023).
51. Макаренко А.В. Глубокие нейронные сети: зарождение, становление, современное состояние // Проблемы управления. 2020. №2. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/glubokie-neyronnye-setizarozhdenie-stanovlenie-sovremennoe-sostoyanie> (дата обращения: 21.05.2022).
52. Матюшкин, Е. Экстремальное программирование – мифы и реальность. / Е. Матюшкин. – Текст: электронный // Записки трезвого практика: [Электронный ресурс] – URL: <http://skipy.ru/philosophy/xp.html> (дата обращения: 20.05.2022).
53. Прогнозирование событий с помощью ленты Twitter // bsiur: [Электронный ресурс] – URL:

- <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/9682> (дата обращения: 12.05.2023).
54. Ensemble Deep learning models for forecasting cryptocurrency time-series // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85085963410&origin=inward&txGid=b333ce48b13e787d2cdca148bd6d2e5a> (дата обращения: 12.05.2023).
55. Язык программирования - что это, виды // Skillfactory blog: [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/yazyk-programmirovaniya/> (дата обращения: 12.05.2023).
56. Predicting the Price of Bitcoin Using Machine Learning // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85048774996&origin=inward&txGid=44dbdb07bb6dcf35f7bcfa98e3e9cab4> (дата обращения: 23.04.2023).
57. Криптовалюта: эволюция становления и перспектива развития // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriptovalyuta-evolyutsiya-stanovleniya-i-perspektiva-razvitiya/viewer> (дата обращения: 19.05.2023).
58. Cryptocurrency forecasting with deep learning chaotic neural networks // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85056477913&origin=inward&txGid=fd9c81a3025c333e0c4da32acadbcf0a> (дата обращения: 21.04.2023).
59. Bitcoin technical trading with artificial neural network // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85050106002&origin=inward> (дата обращения: 20.04.2023).
60. A Deep Learning-based Cryptocurrency Price Prediction Scheme for Financial Institutions // scopus: [Электронный ресурс] – URL:

- <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85089808934&origin=inward> (дата обращения: 19.04.2023).
61. Convolution on neural networks for high-frequency trend prediction of cryptocurrency exchange rates using technical indicators // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85078964099&origin=inward> (дата обращения: 17.04.2023).
 62. A new forecasting framework for bitcoin price with LSTM // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85062887338&origin=inward> (дата обращения: 18.04.2023).
 63. Time-series forecasting of Bitcoin prices using high-dimensional features: a machine learning approach // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85087554750&origin=inward> (дата обращения: 19.04.2023).
 64. Deep Learning Methods for Modeling Bitcoin Price // mdpi: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/8/1245> (дата обращения: 20.04.2023).
 65. Comparative Performance of Machine Learning Algorithms for Cryptocurrency Forecasting // researchgate: [Электронный ресурс] – URL: https://www.researchgate.net/publication/326837070_Comparative_Performance_of_Machine_Learning_Algorithms_for_Cryptocurrency_Forecasting (дата обращения: 21.04.2023).
 66. Cryptocurrency price prediction using traditional statistical and machine-learning techniques: A survey // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85103254304&origin=inward&txGid=d35ad761781f7c237a789ccff73c8b3a> (дата обращения: 22.04.2023).
 67. Sentiment analysis based direction prediction in bitcoin using deep learning algorithms and word embedding models // scopus: [Электронный ресурс] –

- URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85091499010&origin=inward&txGid=897d8ee9b4e2b75dcc58519adb92da3f> (дата обращения: 23.04.2023).
68. Bitcoin price prediction using Deep Learning Algorithm // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85082464403&origin=inward&txGid=0aa7217a6aafbbf92feca7a41c840dbf> (дата обращения: 24.04.2023).
69. Bitcoin Price Prediction Combining Data and Text Mining // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85079105768&origin=inward&txGid=d4bf00a03d385b5cad951193482e0a3d> (дата обращения: 25.04.2023).
70. A Self-Adaptive Deep Learning-Based Algorithm for Predictive Analysis of Bitcoin Price // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85101740971&origin=inward> (дата обращения: 26.04.2023).
71. What drives bitcoin? An approach from continuous local transfer entropy and deep learning classification models // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85121105864&origin=inward&txGid=964ba37d576bc119c2b6b527e6fdabcd> (дата обращения: 25.04.2023).
72. Bitcoin transaction strategy construction based on deep reinforcement learning // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85117191473&origin=inward&txGid=3559ec5cd4c1ebe9392711d43b665244> (дата обращения: 24.04.2023).
73. Bayesian neural networks for stock price forecasting before and during COVID-19 pandemic // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0->

- 85110251020&origin=inward&txGid=a904b1d9cab34ab736c54aee9ec2cc4f
(дата обращения: 23.04.2023).
74. Deep-learning-assisted business intelligence model for cryptocurrency forecasting using social media sentiment // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85086926361&origin=inward&txGid=def86c30338caa9851d339e80e50dd4d> (дата обращения: 22.04.2023).
 75. Time series analysis of cryptocurrencies using deep learning fbprophet // scopus: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=QbTQ0qWs&eid=2-s2.0-85104649750&origin=inward> (дата обращения: 21.04.2023).
 76. Математическое моделирование стоимости криптовалют // elibrary: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42577265> (дата обращения: 20.04.2023).
 77. Реализация и исследование решения задачи прогнозирования динамики курса криптовалют с помощью моделей авторегрессии. // ssau: [Электронный ресурс] – URL: http://repo.ssau.ru/bitstream/Perspektivnye-informacionnye-tehnologii/REALIZACIYa-I-ISSLEDOVANIE-RESHENIYa-ZADACHI-PROGNOZIROVANIYa-DINAMIKI-KURSA-KRIPTOVALUT-S-POMOSHU-MODELEI-AVTOREGRESSII-101907/1/978-5-93424-880-3_2022_170-173.pdf (дата обращения: 19.04.2023).
 78. Прогнозирование дневных изменений цен на Биткойн с помощью методов интеллектуального анализа текста. // vital.lib.tsu: [Электронный ресурс] – URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000660642/SOURCE1> (дата обращения: 18.04.2023).
 79. Использование рекуррентных нейронных сетей с LSTM архитектурой для предсказания динамики цен на биткойн. // vital.lib.tsu: [Электронный

- ресурс] – URL:
<https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:9954/SOURCE01>
 (дата обращения: 17.04.2023).
80. Разработка и тестирование алгоритмического и программного обеспечения оптимизации торговых финансовых стратегий // elib.bsu: [Электронный ресурс] – URL:
<https://elib.bsu.by/handle/123456789/259878> (дата обращения: 16.04.2023).
81. Прогнозирование курса криптовалют с помощью нейронной сети // elibrary: [Электронный ресурс] – URL:
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42526967> (дата обращения: 16.04.2023).
82. Прогнозирование временных рядов методами машинного обучения // dspace.spbu: [Электронный ресурс] – URL:
https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/32391/1/Kovalev_VKR.pdf (дата обращения: 15.04.2023).
83. Сравнительный анализ активационных функций в задаче прогнозирования временных рядов. // vectoreconomy: [Электронный ресурс] – URL:
<http://vectoreconomy.ru/images/publications/2020/5/mathematicalmethods/Naumenko.pdf> (дата обращения: 19.04.2023).
84. Совместное применение модели линейной регрессии и нейронной сети в задаче предсказания тренда котировок криптовалюты bitcoin // cyberleninka: [Электронный ресурс] – URL:
<https://cyberleninka.ru/article/n/sovmestnoe-primenenie-modeli-lineynoy-regressii-i-neyronnoy-seti-v-zadache-predskazaniya-trenda-kotirovok-kriptovalyuty-bitcoin/viewer> (дата обращения: 19.05.2023).
85. Прогнозирование событий с помощью ленты Twitter // bsuir: [Электронный ресурс] – URL:

- <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/9682> (дата обращения: 12.05.2023).
86. Способ автоматизированного обеспечения рекомендаций по принятию инвестиционно-значимых решений на рынке цифровых активов и устройство для его осуществления // yandex.ru/patents: [Электронный ресурс] - URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2710830C1_20200114 (дата обращения: 17.04.2023).
87. Системы, аппарат и способы создания рекомендаций // yandex.ru/patents: [Электронный ресурс] - URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2451986C2_20120527 (дата обращения: 19.04.2023).
88. Способ и система для создания инвестиционного инструмента в виде набора представляемых активов, способ и устройство (варианты) для осуществления банковского инвестирования, способ и устройство (варианты) для торговли на бирже, способ и устройство (варианты) для управления набором представляемых активов, способ передачи сигналов, способ создания акций и набор акций представляемого актива // yandex.ru/patents: [Электронный ресурс] - URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2312394C2_20071210 (дата обращения: 25.04.2023).
89. Способ и система для проведения торговых операций с использованием электронных средств обработки информации // patents.google: [Электронный ресурс] - URL: <https://patents.google.com/patent/RU2775442C1> (дата обращения: 21.04.2023).
90. История криптовалютной биржи EXMO // exmo: [Электронный ресурс] - URL: <https://info.exmo.me/ru/about-us/> (дата обращения: 17.04.2023).

