

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дифференциальных уравнений и математической экономики

**Разработка индикатора для прогнозирования цен активов на основе
приближения их тренда цен**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 441 группы

направления 09.03.03 Прикладная информатика

механико-математического факультета

Сеноженской Алёны Константиновны

Научный руководитель

профессор, д.ф-м.н., профессор _____

С.И. Дудов

Заведующий кафедрой,

зав.кафедрой, д.ф-м.н., профессор _____

С.И. Дудов

Саратов 2024

Введение. Индикаторы рынка ценных бумаг являются важным инструментом для анализа финансовых рынков. Процесс принятия инвестиционных решений можно проводить, используя метод технического анализа, который предполагает изучение прошлых ценовых тенденций с целью определения будущего движения цен. Основными задачами аналитика являются определение фазы текущего состояния рынка, выявление долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных тенденций, оценка колебания цены в действующем направлении. Индикаторы рынка ценных бумаг, основанные на приближении тренда цен, позволяют трейдерам и инвесторам определять направление движения рынка и принимать решения о покупке или продаже акций в соответствии с текущим трендом. Одним из способов разработки таких индикаторов является использование интерполяции тренда цен. Эти индикаторы представляют собой математические выражения, основанные на различных данных о ценах, объемах торговли и других параметрах.

Целью данной бакалаврской работы является рассмотрение некоторых индикаторов технического анализа, построение индикаторов на основе приближения тренда цен, а также сравнение их прогнозной силы с целью определения наиболее эффективных для прогнозирования индикаторов.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- 1) Рассмотрение методов прогнозирования.
 - 2) Изучение основ технического анализа.
 - 3) Исследование технических индикаторов.
 - 4) Построение индикаторов тренда и индикаторов на основе приближения тренда цен алгебраическим полиномом
 - 5) Проведение бэк-тестирования индикаторов на примере акций золота с помощью программы, написанной на языке программирования Python 3.10.
 - 6) Анализ прогнозной силы индикаторов по полученным результатам.
- Объект исследования – трендовые индикаторы технического анализа и индикаторы на основе приближения цен алгебраическим полиномом.

Предмет исследования – акции золотодобывающей компании «Полюс».

Бакалаврская работа состоит из введения, шести основных разделов, заключения, списка литературы и приложения. В первом разделе рассматриваются методы исследования рынка ценных бумаг, основные понятия технического анализа, виды и методы прогнозирования. Второй раздел посвящён обзору некоторых трендовых индикаторов рынка ценных бумаг, их особенностям структуры при использовании и построении. Третий раздел содержит постановку задачи – математическую часть, включающую принципы построения индикаторов на основе интерполяции и аппроксимации с помощью алгебраического полинома. В четвертом разделе представлены схемы построения и бэк-тестирования индикаторов на исторических данных для анализа финансового результата. Главной частью этого раздела является план проведения вычислительных экспериментов, содержащий поэтапный алгоритм действий, а завершает раздел описание программной разработки. В пятом разделе рассматриваются тенденции спроса и предложения на рынке золота, а также описаны инвестиционные стратегии. Шестой раздел отражает итоги вычислительных экспериментов на примере цен закрытия акций золотодобывающей компании «Полюс» с 06.04.2020 по 04.04.2024 с использованием индикаторов, реализованных на языке Python 3.10, а также анализ полученных результатов.

Основное содержание работы. В первом разделе рассматриваются методы исследования рынка ценных бумаг, основные понятия технического анализа, виды и методы прогнозирования.

Главными методами анализа рынка ценных бумаг являются: статистический анализ; мониторинг или наблюдение; фундаментальный анализ; рейтинговый анализ; экспертный анализ и технический анализ.

Рассмотрим последний метод более подробно. Технический анализ изучает динамику соотношения предложения и спроса, т.е. прежде всего сами ценовые изменения. С его помощью прогнозируется изменение цен в будущем на основе анализа изменений цен в прошлом. В его основе лежит анализ

временных рядов цен, а также используется информация об объемах торгов и другие важные статистические данные.

Понятие тренда (движения цены) является основополагающим для технического анализа. Тренд – это общее направление, по которому движутся котировки. Обычно движение происходит волнообразно, и определить направление движения – направленность тренда – можно на графике, например, с помощью линии тренда. Коррекция, или откат – это временное отклонение движения котировок от основного тренда.

Технический анализ определяет «канал» как коридор, в котором двигается график цены, ограниченный снизу линией поддержки, а сверху линией сопротивления. Чем дальше цена движется в канале, тем больше вероятность ее выхода из него. Существует три вида каналов: бычий – восходящий канал; медвежий – нисходящий канал – цена практически не движется.

Прогнозирование – это научно обоснованные суждения о возможном состоянии и будущем развитии объекта или отдельных его элементов, а также о путях, методах, сроках достижения определенного состояния этого объекта.

В разделе 2 приводится краткий обзор уже существующих трендовых индикаторов рынка. Индикаторный технический анализ позволяет определить состояние рынка в текущий период и принять решение о сделке на основе определенных сигналов. Технический индикатор – это результат математических расчетов, произведенных на основании данных о ценах и объемах торгов. Среди всех индикаторов выделяются три основные группы:

- трендовые индикаторы,
- осцилляторы,
- индикаторы объема.

Трендовые индикаторы дают сигналы на совершение операций на сильных трендовых движениях. Осцилляторы целесообразнее использовать для торговли при ослабевании тенденции или боковике. Индикаторы объема в основном используются как дополнительные, вне зависимости от фазы трендового движения, для подтверждения или опровержения текущего движения объемом.

Индикатор тренда – это вспомогательный инструмент, предназначенный для определения направления тренда.

Для трендовых индикаторов характерно следующее поведение:

1. После возникновения на рынке трендового движения индикаторы подают сигнал о его начале.
2. С момента разворота тренда до получения сигнала проходит определенное время – это называется «запаздыванием» индикатора.
3. В случае отсутствия тренда на рынке индикаторы подают множество ложных сигналов.

Группа индикаторов МА (Moving Average) используются для выявления трендов, сглаживания шума в данных и определения потенциальных точек разворота тренда. Эти индикаторы вычисляются путем усреднения последовательных значений временного ряда в течение определенного периода времени. Скользящие средние бывают различных видов: простые, экспоненциальные, взвешенные и их производные. Простая скользящая средняя (Simple Moving Average, SMA) содержит в себе вычисление среднего значения цены за некоторый период времени:

$$SMA = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n},$$

где P_i – значение цены в i -ом периоде; n – период сглаживания.

При анализе графика скользящие средние могут сформировать 2 основных сигнала: точка пересечения скользящей средней с графиком цены формирует сигнал на покупку, в случае если цена пересекает скользящее среднее снизу вверх и на продажу, если цена пересекает скользящее среднее сверху вниз.

Индикатор ТЕМА (Triple Exponential Moving Average) – тройное экспоненциальное сглаживание обладает более быстрой реакцией на изменения тренда. Этот метод основан на последовательном применении экспоненциального сглаживания к трем уровням данных. Формула для ТЕМА выглядит следующим образом:

$$TEMA(N) = 3 \cdot EMA(N) - 3 \cdot DEMA(N) + EMA(DEMA(N)),$$

где N – период сглаживания, $DEMA(N) = 2 \cdot EMA(N) - 2 \cdot EMA(EMA(N))$, а $EMA(N) = P_i \cdot a + EMA(N - 1) \cdot (1 - a)$, где $a = \frac{2}{N+1}$ – весовой коэффициент.

Полосы Боллинджера (Bollinger Bands, BB) – индикатор волатильности в форме полосы из трех линий на основе скользящей средней, которая используется как фильтр шумов на ценовом графике и отображает направление тренда, а верхняя и нижняя линии отражают стандартное отклонение от SMA, образуя коридор. Нахождение цены возле верхней линии указывает на перекупленность, возле нижней линии – на перепроданность.

Минусом данного индикатора является недостаточная объективность на неликвидных рынках и в периоды низкой волатильности.

Для Полос Боллинджера характерны следующие закономерности:

1. Если границы коридора расходятся, то это свидетельствует о продолжении сложившейся тенденции, а если сужаются, то это может свидетельствовать о затухании тренда и возможном развороте.
2. Движение, начавшееся от одной из границ, вероятнее всего продолжится до другой.
3. Положение графика цены относительно средней линии свидетельствует о направлении тренда.

Трендовый осциллятор MACD, или индикатор схождения-расхождения скользящих средних (Moving Average Convergence/Divergence) построен на разнице между двумя скользящими средними с различными периодами. Существует два способа построения: линейный MACD и гистограмма MACD.

На графике линейного MACD отображаются две линии: основная и сигнальная. На графике гистограммы MACD отображается разница между основной и сигнальной линией. Формулы расчета:

- Линия MACD = 12-дневная ЕМА – 26-дневная ЕМА.
- Сигнальная линия MACD = 9-дневная ЕМА значения MACD.
- Гистограмма MACD = линия MACD – сигнальная линия.

Если используется гистограмма, тогда сигналы возникают при пересечении графиком гистограммы нуля. Локальные минимумы и максимумы гистограммы служат дополнением для подтверждения силы тренда и сигналов.

Раздел 3 содержит постановку задачи – математическую часть, включающую принципы построения индикаторов на основе интерполяции и аппроксимации с помощью алгебраического полинома.

Прогнозирование цен может осуществляться и с помощью математических методов, связанных с исследованием функций, например, аппроксимации и интерполяции. Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов. Интерполяция – это способ построения функции по имеющимся узлам. Зная значения цен на некоторые ценные бумаги в предыдущем периоде, находим вид функции, затем подставляем в нее значение следующего момента времени и находим значение цены в нем.

Пусть функция f задана некоторым набором своих дискретных значений:

x	x_0	x_1	x_2	...	x_n
f	f_0	f_1	f_2	...	f_n

где $x < x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n$ – узлы, упорядоченные по возрастанию.

В нашем случае искомая функция будет иметь вид многочлена степени n :

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k, \quad (1)$$

где нижний индекс n указывает на степень интерполяционного многочлена.

Используя формулу (1), представим главное условие интерполяции в виде системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) размерности $(n + 1) \times (n + 1)$ относительно неизвестных коэффициентов a_n, a_{n-1}, \dots, a_0 :

$$\begin{cases} a_n x_0^n + a_{n-1} x_0^{n-1} + \dots + a_0 = f_0; \\ a_n x_1^n + a_{n-1} x_1^{n-1} + \dots + a_0 = f_1; \\ \dots \\ a_n x_n^n + a_{n-1} x_n^{n-1} + \dots + a_0 = f_n. \end{cases} \quad (2)$$

Интерполяционный многочлен в форме Лагранжа имеет вид:

$$L_n(f; x) = \sum_{k=0}^n f_k \cdot \ell_k(x) = \sum_{k=0}^n f_k \prod_{i \neq k} \frac{(x - x_i)}{(x_k - x_i)}.$$

Найдя коэффициенты и подставив их в (1), получим формулу для искомого интерполирующего многочлена, затем вычисляем значение функции в следующей точке, что в экономическом смысле является прогнозным значением.

Чебышёвская аппроксимация — это метод аппроксимации функций, основанный на использовании узлов, соответствующих нулям полиномов Чебышёва для приближения функции на заданном интервале.

Узлы Чебышева x_k находятся по формуле:

$$x_k = \frac{b + a}{2} + \frac{b - a}{2} \cdot \cos\left(\frac{(2k - 1)\pi}{2N}\right), \quad k = 1, 2, \dots, N,$$

где N — количество узлов.

Полином Чебышёва первого рода степени n , обозначаемый как $T_n(x)$, может быть определен рекуррентно следующим образом:

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x).$$

Функция $f(x)$ на интервале $[-1, 1]$ может быть аппроксимирована полиномом Чебышёва степени n :

$$f(x) \approx c_0 \cdot T_0(x) + c_1 \cdot T_1(x) + \dots + c_n \cdot T_n(x) = \sum_{k=0}^n c_k T_k(x),$$

где коэффициенты вычисляются по формуле:

$$c_k = \frac{2}{N} \int_{-1}^1 f(x) T_k(x) dx.$$

В четвертом разделе изложен план проведения экспериментов. Бэк-тестинг — это исследование эффективности индикаторов и торговой стратегии на предыдущих временных периодах (исторических данных) с целью анализа результата, который мог быть достигнут, если бы индикатор и торговая стратегия использовалась в реальных торгах в этот период времени.

Проведем бэк-тестирование индикаторов на примере курса цен закрытия акций «Полюс» в промежуток времени с 06.04.2020 по 04.04.2024 с помощью разработанной программы на языке Python 3.10 в облачной среде Google Colab.

Разделим план проведения экспериментов на два этапа, первый – построение индикатора, второй – применение стратегии к поиску сигналов для входа на рынок и выхода из него от построенных индикаторов.

Первый этап основан на следующих шагах:

- 1) Строим ценовой график исторических данных.
- 2) Задаем n – период сглаживания или степень многочлена.
- 3) Строим индикаторы простое скользящее среднее и тройное экспоненциальное скользящее среднее с периодом сглаживания n , а также индикаторы, основанные на интерполяции методом Лагранжа и аппроксимации с помощью полиномов Чебышева степени n .

- 4) Проводим серию экспериментов для $n = 3, \dots, 8$. В каждом эксперименте находим значение прогноза цены в следующей точке.

- 5) Строим графики получившихся прогнозных значений индикаторов.

- 6) Анализируем полученные результаты.

Второй этап включает в себя следующие пункты:

- 1) Определение стратегии интерпретации сигналов входа на рынок и выхода из него, полученных от индикаторов, на исторических данных.

- 2) Графическое отображение совершенных сделок.

- 3) Вычисление процентного дохода и количества проведенных операций для оценки эффективности индикатора.

- 4) Анализ результатов торговли на рассматриваемом периоде.

Определим схемы построения индикаторов. Как отмечалось ранее – функция f задана некоторым набором дискретных значений цен акций.

Этапы построения индикатора простое скользящее среднее:

1. Выбираем период сглаживания $n < N$.
2. Берем количество необходимых узлов n для подсчета скользящей средней.
3. Полагаем $i = 0$.

4. Считаем значение скользящей средней в следующей временной точке, подставив исходные значения в формулу

$$SMA = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n},$$

где f_i – значение цены в i -ом моменте времени; n – длина сглаживания.

5. Проверяем, если $i + n < N$, то увеличиваем i на единицу $i = i + 1$ и возвращаемся в пункт 4. Иначе, если $i + n = N$, расчеты заканчиваются.

Получившееся значение скользящей средней рассчитано во всех точках $t_{n+1}, t_{n+2}, \dots, t_N$. Эти значения принимаем в качестве прогнозных значений.

Аналогичные шаги необходимы для построения тройного экспоненциального скользящего среднего.

Построение индикатора, основанного на интерполяции методом Лагранжа, включает следующие шаги:

1. Выбираем степень полинома n .
2. Берем количество необходимых узлов для решения задачи интерполяции $N = n + 1$.
3. Решаем задачу интерполяции методом Лагранжа и получаем ее решение – вектор коэффициентов $A = (a_n, a_{n-1}, \dots, a_0)$.
4. Подставляем полученные коэффициенты в формулу интерполяционного многочлена в форме Лагранжа степени n (1).

$$L_n(f; x) = \sum_{k=0}^n f_k \cdot \ell_k(x) = \sum_{k=0}^n f_k \prod_{i \neq k} \frac{(x - x_i)}{(x_k - x_i)}.$$

5. Проверяем, если $i + n + 1 < N$, то увеличиваем i на единицу $i = i + 1$. Возвращаемся в пункт 4. Иначе, если $i + n + 1 = N$, расчеты заканчиваются.

Получившееся значение алгебраического полинома рассчитано во всех точках $t_{n+1}, t_{n+2}, \dots, t_N$. Эти значения принимаем в качестве прогнозных.

Этапы построения индикатора на основе аппроксимации с помощью полиномов Чебышева:

1. Зададим степень полинома n .
2. Берем количество необходимых узлов $N = n + 1$.

3. Найдем узлы Чебышева на интервале $[-1, 1]$

$$x_k = \cos\left(\frac{(2k-1)\pi}{2N}\right), \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

4. Найдем значения полинома Чебышева в узлах интерполяции.

5. Вычислим коэффициенты полинома Чебышёва:

$$c_i = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N y_k T_i(x_k), \quad i = 0, 1, \dots, N.$$

6. Используем полученные коэффициенты для построения полинома Чебышёва по заданным узлам:

$$T_n(x) = \sum_{i=0}^n c_i T_i(x).$$

7. Используя построенный полином Чебышёва, вычислим значение цены акции в следующей точке, преобразуя его нормализованное значение на $[-1, 1]$ в реальное значение цены акции на исходном интервале.

8. Проведем расчеты по всех точках.

Бэк-тестирование индикаторов включает анализ сигналов для определения точек входа и выхода: пересечение линии индикатора с ценовым графиком снизу вверх – сигнал на покупку, сверху вниз – сигнал на продажу.

Для упрощения вычислений будем рассматривать торговлю одной акцией. Для оценки эффективности индикаторов будем осуществлять следующие шаги:

- 1) вычитаем из каждой цены продажи предшествующую ей цену покупки;
- 2) суммируем полученную разницу и делим на цену первой покупки, чтобы получить процентный доход;
- 3) проводится подсчет всех проведенных операций.

Чем выше процентный доход и чем меньше проведенных операций, тем более эффективным можно считать использование данного индикатора.

В 5 разделе приведен краткий обзор рынка золота, являющегося важным элементом экономики. Инвестиции в золото осуществляются через различные

инструменты – золотые слитки, монеты, металлические вклады, ETF и акции золотодобывающих компаний.

Большая часть предложения на рынок золота поступает от золотых рудников, а основной спрос формируется ювелирной отраслью. Центральные банки, нетто-производители и биржевые инвестиционные фонды также влияют на спрос и предложение золота, но их влияние носит ситуативный характер.

Причины, по которым участники рынка покупают или продают золото: простые спекуляции, приобретение или продажа физического металла, укрепление инвестиционного портфеля – диверсификация рисков в периоды нестабильностей и защита от инфляции.

Шестой раздел отражает итоги вычислительных экспериментов на примере цен закрытия акций золотодобывающей компании «Полюс» с 06.04.2020 по 04.04.2024 с использованием построенных индикаторов.

В ходе бэк-тестирования были проведены вычисления прогнозных значений для периодов сглаживания и степеней полинома $n = 3, 4, \dots, 8$, результаты представлены графически. Для оценивания прогнозной силы построенных индикаторов были посчитаны погрешности – максимальное по модулю значение отклонения прогнозной цены от исходной и среднее отклонение, а также процентный доход при торговле по сигналам, полученным от индикаторов. Отклонения, по которым проводится анализ, показывают не просто погрешность вычислений, в экономическом смысле это можно трактовать как потерю прибыли инвестором, т.е. какую максимальную потерю, и какие средние потери можно понести, если использовать тот или иной индикатор к выбранным акциям.

Заключение. В данной работе были рассмотрены некоторые индикаторы технического анализа и построены индикаторы на основе алгебраического полинома, а также проведено бэк-тестирование на примере акций компании «Полюс» с помощью программы, написанной на языке Python 3.10. По результатам вычислительных экспериментов был проведен анализ прогнозной силы выбранных индикаторов.