

Т.Н. Кондратьева, Е.Р. Мунтян, И.Ф. Развеева, Г.С. Оноре

**РЕАЛИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТRENDA РЫНКА НА ПЛАТФОРМЕ
METATRADER 5**

Рассмотрены возможности применения эффективных методов технического анализа для определения направления тренда финансовых активов на мультирыночной платформе MetaTrader 5. Показаны преимущества и целесообразность применения методов технического анализа в разных сферах финансовых рынков на примерах работ российских и зарубежных авторов. В работе для определения направления и силы тренда обоснована недостаточность применения таких технических индикаторов, как полосы Боллинджера (BB), MACD, MA, EMA, построенных по различным законам распределения цен финансовых активов. Рассмотрены инструменты графического анализа, как частный случай технического анализа, отличающийся особой наглядностью и визуализацией исследуемого процесса. В статье приведены примеры фигур технического анализа, показана их принадлежность к базовым типам графического анализа. Рассмотрено понятие современной торговой стратегии – инновационный трейдинг, проведен сравнительный анализ торговой стратегии, ее возможности и риски. В работе приводится описание разработанного программного модуля в виде торгового индикатора на платформе MetaTrader 5 на языке Meta Quotes Language 5 (MQL5) в сочетании со скриптом на высокоуровневом языке Python для алготрейдинга с применением методов технического анализа. В основу индикатора заложено построение линий поддержки и сопротивления для определения направления и силы тренда. Разработан алгоритм определения направления и силы тренда инструментами технического анализа, что в результате позволит повысить точность прогноза направленности тренда путем интеграции технического индикатора в систему. Для экспериментальной части процесса использован финансовый инструмент – валютная пара EUR/USD, общий период исследования составил шесть месяцев. В результате алгоритм корректно отработал в реальном режиме времени без участия человека в течение двадцати четырех недель. По результатам тестирования можно судить о перспективности исследований данного направления для решения большого спектра прикладных задач финансовой математики и аналитики. Применение созданного индикатора может быть расширено на любые торговые операции по различным финансовым инструментам и на их комбинации.

Графический анализ; технический анализ; мультирыночная платформа; MetaTrader 5; Forex; алготрейдинг; инновационный трейдинг; торговая стратегия; технический индикатор.

T.N. Kondratieva, E.R. Muntyan, I.F. Razveeva, G.S. Onore

**IMPLEMENTATION OF AN EFFECTIVE METHOD OF TECHNICAL
ANALYSIS FOR DETERMINING THE MARKET TREND
ON THE METATRADER 5 PLATFORM**

The article discusses the possibilities of using effective methods of technical analysis to determine the trend direction of financial assets on the multi-market platform MetaTrader 5. The advantages and expediency of using technical analysis methods in various areas of financial markets are shown by examples of works by Russian and foreign authors. In order to determine the direction and strength of the trend, the insufficiency of the use of such technical indicators as Bollinger bands (BB), MACD, MA, EMA, constructed according to various laws of the distribution of prices of financial assets, is justified. Graphical analysis tools are considered as a special case of technical analysis, characterized by special visibility and visualization of the process under study. The article provides examples of technical analysis figures, shows them to belong to the basic types of graphical analysis. The concept of a modern trading strategy – innovative trading is considered, a comparative analysis of the trading strategy, its opportunities and risks is carried

out. The paper describes the developed software module in the form of a trading indicator on the MetaTrader 5 platform in Meta Quotes Language 5 (MQL5) in combination with a script in the high-level Python language for algo trading using technical analysis methods. The indicator is based on the construction of support and resistance lines to determine the direction and strength of the trend. An algorithm for determining the direction and strength of the trend with technical analysis tools has been developed, which as a result will improve the accuracy of the trend direction forecast by integrating a technical indicator into the system. For the experimental part of the process, a financial instrument was used – the EUR/USD currency pair, the total study period was six months. As a result, the algorithm worked correctly in real time without human intervention for twenty-four weeks. Based on the test results, it is possible to judge the prospects of research in this area for solving a large range of applied problems of financial mathematics and analytics. The application of the created indicator can be extended to any trading operations on various financial instruments and their combinations.

Graphical analysis; technical analysis; multimarket platform; MetaTrader 5; Forex; algorithmic trading; innovative trading; trading strategy; technical indicator.

Введение. Платформа MetaTrader 5 – это инструмент трейдера, позволяющий проводить технический анализ и совершать торговые операции на международном валютном рынке Forex и фондовых биржах [1], в том числе проводить комплексный анализ динамики цен различных финансовых инструментов, котировок валют и акций [2–4].

В течение многих лет аналитики продолжают активно заниматься вопросами изучения рыночных цен финансовых активов, пытаясь понять скрытые и явные тенденции динамики рынка, его направленность в условиях нисходящего и восходящего рынков. Задача трейдера – отследить закономерности на различных участках графиков финансовых активов и определить паттерны, формирующие дальнейшее поведение цен на выбранных участках, рыночные цены финансовых активов, их доходность и возможные риски. Особый интерес у трейдеров, инвесторов и экономистов вызывает прогнозирование изменения цены финансовых активов, в том числе правильная оценка того, как изменяется цена, что является определяющим фактором. Важно понимать, что фигуры технического анализа являются не просто графической визуализацией процесса образования цен, а непосредственной психологией рынка. Поведение участников торгов часто повторяется и не может не отражаться на формировании цен активов, мы же, в свою очередь, наблюдаем это на графиках и используем для определения наиболее подходящего момента для покупки либо продажи финансового актива.

Однако наряду с графическим и техническим анализами существуют количественные методы и математические модели для принятия решений, позволяющие проводить эффективную торговлю финансовыми активами [5]. Технический анализ используют для построения модели технических индикаторов, разрешающую инвестору агрегировать сформированные фрагменты информации по динамике цен [6–8].

Для анализа фондового рынка также применимы графовые модели [9, 10]. Например, в работе [10] рассчитывается доходность по финансовым активам при помощи модели, в которой вершинами графа представлены активы, а веса ребер определяются степенями зависимости активов. Предложенные графовые модели позволяют представить только однотипные объекты и отношения между ними, в то время как целесообразно использовать модели с более широким функционалом, например, предложенные в работах [11–13]. Однако данные модели лежат за пределами данного исследования.

В данном исследовании реализуется эффективный метод технического анализа, заключающийся в построении линий поддержки и сопротивления для определения тренда рынка на платформе MetaTrader 5.

1. Анализ предметной области. Наиболее распространенные фигуры технического анализа представляют собой достаточно простую геометрию, так, например: прямоугольники – «Голова и плечи», «Двойное дно», «Канал»; треугольники и симметричные треугольники – «Вымпел», «Восходящий треугольник», «Нисходящий треугольник». Такие названия эти фигуры получили не случайно, каждая из них дает возможность определения направленности тренда и его силу, продолжение тренда и разворот, а также неопределенные паттерны. Фигуры «Голова и плечи», «Двойное дно», «Двойная вершина» дают сигнал о ближайшей смене направленности тренда и относятся к разворотному типу графического анализа. Фигуры «Флаг», «Вымпел» сигнализируют о продолжении движения цены и относятся к типу продолжающегося тренда. Фигуры «Восходящий треугольник», «Нисходящий треугольник» могут давать сигнал, как о смене тренда, так и о его продолжении и относятся к неопределенному типу. В табл. 1 представлены наиболее часто используемые фигуры технического анализа и их принадлежность к базовым типам графического анализа.

Таблица 1

Типы графического анализа

Тип графического анализа	Фигура	Геометрия фигуры
Разворотный тренд	«Голова и плечи»	
	«Двойное дно»	
	«Двойная вершина»	
	«Канал»	
Боковой тренд	«Прямоугольник»	
	«Флаг»	
	«Вымпел»	
	«Восходящий канал»	
	«Нисходящий канал»	
Неопределенный паттерн	«Симметричный треугольник»	
	«Восходящий треугольник»	
	«Нисходящий треугольник»	

Инструменты технического анализа позволяют определить динамику цен финансовых активов, часто выступают в качестве базы для автоматической торговой системы. В своих ранних работах [14] для прогнозирования динамики цен финансовых активов нами использованы инструменты технического анализа, в том числе технические индикаторы: полосы Боллинджера (BB), MACD, MA, ЕМА и другие. В работе [15] обоснована востребованность технических индикаторов на российских и других фондовых рынках (на примере китайского фондового рынка).

Зарубежные ученые в своих работах при построении модели прогноза цен финансовых активов в качестве инструмента анализа, также используют технические индикаторы и их комбинации [16–18].

Перспективным направлением развития алготрейдинга является внедрение методов искусственного интеллекта, превосходящих по точности и производительности линейные регрессионные модели и древовидные структуры [19, 20]. Торговые системы на основе интеллектуальных алгоритмов способны обрабатывать большие и зачастую неструктурированные массивы данных [21–23], подобные гибридные системы обладают преимуществами в скорости, точности и масштабируемости [24].

Чаще всего трейдеры для эффективной торговли на рынке применяют инновационный трейдинг, копируя сделки успешных трейдеров и не занимаются изучением силы и направления тренда того или иного финансового актива. Таким образом, задача сводится к выбору успешного трейдера по его показателям торговли в прошлых сделках и копированию его сделок. В таком подходе есть ряд недостатков: во-первых, сложности с поиском лицензированного брокера; во-вторых, трудности с выбором успешного трейдера; в-третьих, возможность расчета рисков в лучшем случае сводится к нулю, а в худшем случае растет в экспоненциальном порядке.

Существующие системы, предназначенные для определения направления тренда финансовых активов на платформе MetaTrader 5, являются закрытыми системами, т. е. пользователи таких систем вынуждены «доверять» прогнозам самой платформы, и соответственно, не могут быть уверены в точности полученных рекомендаций к действиям.

Для решения этих проблем в рамках данного исследования предлагается использование инструментов технического анализа для определения направления и силы тренда финансовых активов на платформе MetaTrader 5, что обуславливает необходимость разработки программного модуля в виде торгового индикатора на этой платформе.

Таким образом, применение инструментов технического анализа для разработки программного модуля гарантирует пользователю не только открытость системы, но и позволит обеспечить заданную точность прогноза направленности тренда путем интеграции технических индикаторов в систему.

2. Постановка цели и задачи исследования. Целью исследования является получение гарантированной точности рекомендаций к действиям участников финансового рынка.

Задача исследования заключается в разработке программного модуля в виде торгового индикатора на платформе MetaTrader 5 с применением методов технического анализа. Для реализации программного модуля используется язык программирования Meta Quotes Language 5 (MQL5) в сочетании со скриптом на Python. В основу индикатора заложено вычисление силы и направления тренда.

3. Математическая модель реализации эффективного метода технического анализа для определения тренда рынка на платформе MetaTrader 5. В работе использован классический технический индикатор «линии поддержки и сопротивления», с помощью которого можно прогнозировать силу тренда и его направление.

Для построения математической модели применяются формулы (1-2), при этом построение параметрического уравнения данного технического индикатора l_m^k выполняется на основе формулы (3):

$$\overline{Q_{max}^{(1k)} Q_{max}^{(2k)}} = \begin{pmatrix} t_{max}^{(2k)} - t_{max}^{(1k)} \\ p_{max}^{(2k)} - p_{max}^{(1k)} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\overline{Q_{max}^{(2k)} Q_i^{(2k)}} = \begin{pmatrix} t_i^{(2k)} - t_{max}^{(1k)} \\ p_i^{(2k)} - p_{max}^{(1k)} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$l_m^k: \frac{t_i^{(2k)} - t_{max}^{(1k)}}{t_{max}^{(2k)} - t_{max}^{(1k)}} = \frac{p_i^{(2k)} - p_{max}^{(1k)}}{p_{max}^{(2k)} - p_{max}^{(1k)}}, \quad (3)$$

где $m = \{\overline{1; M}\}$ – период исследования, равный 1 неделе;

M – весь период исследования (24 недели);

t_i – время рассматриваемого периода (24 часа);

$t_i^{(1k)}, t_i^{(2k)}$ – текущее значение параметра по оси абсцисс на первую (1k) и вторую (2k) половину выбранного периода соответственно;

$p_i^{(1k)}, p_i^{(2k)}$ – текущее значение цен открытия/закрытия по оси ординат на первую и вторую половину выбранного периода соответственно;

$Q_i^{(2k)}$ – текущее значение функции $f^{(2)}$ на вторую половину выбранного периода;

$t_{max}^{(1k)}, t_{max}^{(2k)}$ – значение параметра t по максимумам функций $f^{(1)}$ и $f^{(2)}$ соответственно;

$p_{max}^{(1k)}, p_{max}^{(2k)}$ – цена открытия/закрытия по максимумам функций $f^{(1)}$ и $f^{(2)}$ соответственно;

$Q_{max}^{(1k)} = f^{(1)}(t_{max}^{(1k)}, p_{max}^{(1k)})$, $Q_{max}^{(2k)} = f^{(2)}(t_{max}^{(2k)}, p_{max}^{(2k)})$ – максимальные значения функций $f^{(1)}$ и $f^{(2)}$ (координаты на плоскости) на первую и вторую половину выбранного периода соответственно.

Сила тренда Θ_m^k вычисляется по формулам (4, 5):

$$\Theta_m^k = p_{max}^{(2k)} / d_m^k, \quad (4)$$

$$d_m^k = ((t_{max}^{(2k)})^2 + (p_{max}^{(1k)})^2)^{1/2}, \quad (5)$$

где d_m^k – расстояние между $Q_{max}^{(1k)}$ и $Q_{max}^{(2k)}$.

В качестве объекта изучения выбран финансовый инструмент валютная пара EUR/USD, общий период исследования составил 24 недели с 03.05.2022 по 29.10.2022.

Научная новизна данной работы заключается в использовании предложенного математического аппарата и реализации на его основе алгоритма торговой стратегии для повышения эффективности метода технического анализа с целью определения направления и силы тренда финансового актива на платформе MetaTrader 5.

4. Реализация алгоритма торговой стратегии. На рис. 1 приведена блок-схема разработанного алгоритма определения направления и силы тренда, который можно представить в виде последовательности действий:

- 1) построение тренда за день с периодом в 1 час (таймфрейм);
- 2) разбиение цен открытия/закрытия за дневной период на две категории: первая половина дня $p_i^{(1k)}$ и вторая половина дня $p_i^{(2k)}$;

- 3) определение экстремумов по ценам открытия/закрытия за дневной период по категориям $p_{max}^{(1k)}, p_{max}^{(2k)}, p_{min}^{(1k)}, p_{min}^{(2k)}$;
- 4) определение координат точек экстремумов за дневной период по категориям по дням недели $Q_{max}^{(1k)}, Q_{max}^{(2k)}, Q_{min}^{(1k)}, Q_{min}^{(2k)}$;
- 5) построение параметрического уравнения направления тренда l_m^k ;
- 6) определение силы тренда;
- 7) проверка условия на смену тренда θ_m^k ;
- 8) переход к пункту 2) и повторение пунктов 2) – 7) 120 раз;
- 9) выводы результатов работы алгоритма определения направления и силы тренда.

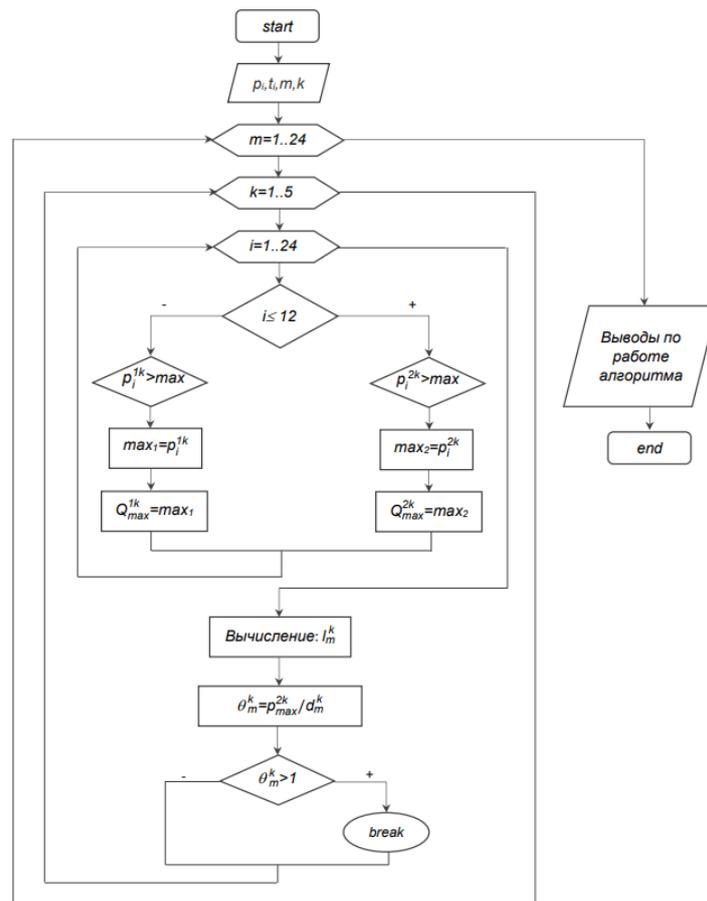


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения направления и силы тренда

При создании скрипта на *Python* для интеграции с платформой MetaTrader 5, необходимо выполнить ряд действий:

- ◆ определиться с выбором библиотек, в первую очередь библиотек средств визуализации данных, так как большую роль при проведении графического анализа (как раздела технического анализа) играет удобство используемого инструмента (в данном случае – графика);
- ◆ убедиться в наличии соединения с терминалом, и в случае возникновения ошибки вывести ее код для возможности устранения (рис. 2);

♦ получить данные из терминала MetaTrader 5 за определенный период времени (в нашем случае с 02.05.2022 по 28.10.2022), используя метод `mt5.copy_rates_range` с таймфреймом равным 1 час.

```
if not mt5.initialize():
    print("initialize() failed, error code =", mt5.last_error())
    mt5.shutdown()
```

Рис. 2. Проверка на наличие ошибок при подключении терминала

Затем для построения графика необходимо определить точки, в которых цена закрытия за каждые 12 часов была максимальной (рис. 3).

Результаты работы реализованного алгоритма определения направления и силы тренда представлены в следующем разделе.

```
for M in range(1, 25):
    for k in range(1, 6):
        for i in range(1, 25):
            if i<=12:
                max_1 = ticks_frame[k:i]['close'].max()
                if max_1 not in max_1_list:
                    max_1_list.append(max_1)
                max_1_i = ticks_frame[k:i]['close'].idxmax()
                if max_1_i not in max_1_i_list:
                    max_1_i_list.append(max_1_i)
            else:
                max_2 = ticks_frame[k:i]['close'].max()
                if max_2 not in max_2_list:
                    max_2_list.append(max_2)
                max_2_i = ticks_frame[k:i]['close'].idxmax()
                if max_2_i not in max_2_i_list:
                    max_2_i_list.append(max_2_i)
```

Рис. 3. Алгоритм поиска локальных максимумов

5. Результаты тестирования торгового индикатора. Рассмотрим графики, построенные согласно нашему алгоритму с использованием библиотеки `Plotly` за 03.10.2022 (а, с); 13.10.2022 (b, d) (рис. 4).

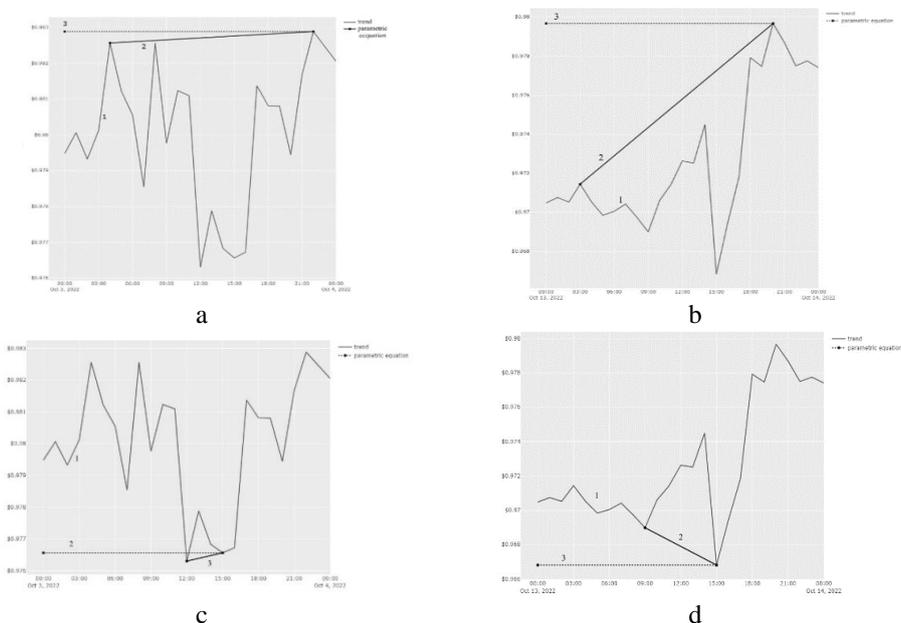


Рис. 4. Графики работы алгоритма 03.10.2022 и 13.10.2022. Построение линии поддержки и сопротивления

На графике: 1 – график цен валютной пары EUR/USD; 2 – параметрическое уравнения линии сопротивления; 3 – вспомогательная линия для определения силы линии сопротивления (рис. 4,a,b – построение линии поддержки; с, d – построение линии сопротивления).

На графиках рис. 4,a,c видно, что в течение дня на часовом таймфрейме наблюдается восходящий тренд с умеренной силой роста (данный факт подтверждается при оценке угла между линиями 2 и 3). При этом на графиках рис. 4,b,d – восходящий тренд с достаточно высокой силой роста.

Аналогичным способом предложенный алгоритм работает при построении линии поддержки с заменой пп. 3 и 4 следующим образом:

3) определяется минимум по ценам открытия/закрытия за дневной период по категориям $p_{min}^{(1k)}, p_{min}^{(2k)}$;

4) определяется координаты точек минимумов за дневной период по категориям по дням недели $Q_{min}^{(1k)}, Q_{min}^{(2k)}$.

Для наглядной демонстрации работы реализованного алгоритма приведен тренд выбранного финансового актива за период с 05.06.2022 по 01.09.2022 (рис. 5).



Рис. 5. Результат работы алгоритма за весь период исследования

Для уменьшения нагрузки на вычислительную систему алгоритм позволяет отобразить исключительно линии поддержки и сопротивления, построенные по уровням локального минимума и максимума за первый и последний день. В данном случае наблюдается устойчивый нисходящий тренд. Отсюда можно сделать вывод: на таком рынке опасно открывать *long*-позиции, но можно заработать, торгуя в *short*.

Параметр Θ принимает два значения и отвечает за силу направления тренда: Θ^{sup} – Θ поддержка; Θ^{res} – Θ сопротивление. Переменная k_j^m принимает значения согласно рассматриваемому периоду ($m = \{1: M\}$, где M – весь период исследования) с учётом дней недели с понедельника по пятницу $k_{1,2,\dots,5}$: $j = \{1: 5\}$ (k_1 – понедельник; k_2 – вторник; и т.д. по аналогии; k_5 – пятница).

В табл. 2 представлены значения параметра Θ^{res} , рассчитанные с помощью алгоритма при построении линии сопротивления. Так как число параметров $\Theta_m^k = 120$, следует ограничиться лишь фрагментом полученных значений параметра Θ^{res} . Аналогично рассчитываются Θ^{sup} при построении линии поддержки.

Таблица 2

Данные тестирования Θ^{res}

Дата	m	k_j^m	Θ^{res}	Рекомендации
02.05.2022	1	1	1,002	восходящий тренд (тенденция к смене тренда)
03.05.2022	2	2	1,005	нисходящий тренд (тенденция к смене тренда)
04.05.2022	3	3	0,75	восходящий тренд
05.05.2022	4	4	1,61	восходящий тренд
06.05.2022	5	5	0,82	нисходящий тренд
09.05.2022	6	1	0,15	нисходящий тренд (флэтовая тенденция тренда)

Окончание табл. 2

Дата	m	k_j^m	Θ^{res}	Рекомендации
10.05.2022	7	2	1,12	восходящий тренд
11.05.2022	8	3	1,2	нисходящий тренд
...				
19.09.2022	91	1	1,024	восходящий тренд (тенденция к смене тренда)
20.09.2022	92	2	0,915	нисходящий тренд
21.09.2022	93	3	0,789	нисходящий тренд
22.09.2022	94	4	0,68	нисходящий тренд
21.09.2022	95	5	0,24	нисходящий тренд (флэтовая тенденция тренда)
26.10.2022	118	3	0,86	восходящий тренд
27.10.2022	119	4	1,1	восходящий тренд (тенденция к смене тренда)
28.10.2022	120	5	0,32	нисходящий тренд (флэтовая тенденция тренда)

На рис. 6 представлен результат работы реализованного алгоритма за период с 5.06.2022 по 19.06.2022.

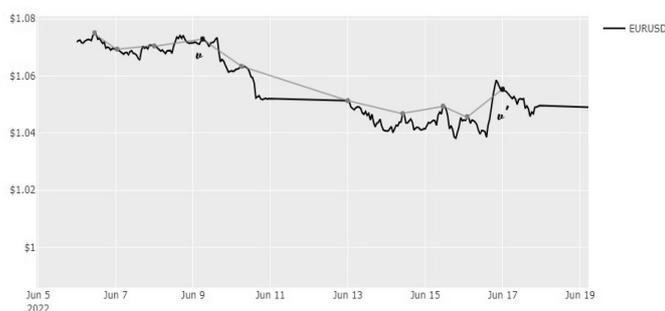


Рис. 6. Результат работы алгоритма за указанный период

На графике наблюдается сформированный нисходящий тренд, однако стоит отметить, что в точке ϑ (локальный экстремум указанного периода) была попытка перелома тренда, но закрепиться в данном направлении не удалось. В точке ϑ' локального экстремума указанного периода при оформлении заявки типа *Sell Stop* по данной цене, открывается *short*-позиция, которая на момент закрытия сделки принесла бы трейдеру определённую доходность ($\gamma_i = 2,13\%$), что является высоким показателем для рынка *Forex* за столь короткий промежуток времени, при низкой волатильности цен финансового актива. Поскольку данный алгоритм не несет прогнозный характер, то при смене локального тренда следует закрывать сделку во избежание убыточной торговли.

Общая доходность по сделкам вычисляется по формуле $Y = \sum_{i=1}^M \gamma_i$, где γ_i – дневная доходность. За весь период исследования (см. табл. 2) общая доходность по сделкам составила $Y = 3,8374\%$.

Преимущества данного алгоритма заключаются в следующем: при незначительных изменениях появляется возможность строить как линии поддержки, так и линии сопротивления, что позволяет открывать не только *short*-позиции, но и *long*-позиции. Так же имеется возможность изменения используемых параметров алгоритма, что позволят пользователям подстроить его под себя.

Исследования разработанного алгоритма показали:

- ◆ эффективность его работы на различных временных промежутках;
- ◆ возможность его использования для различных стратегий: трейдинга (на малых таймфреймах внутри дня), среднесрочного и долгосрочного инвестирования;
- ◆ гибкость и масштабируемость алгоритма.

Однако, выявлен недостаток предложенного алгоритма: для построения трендовой линии на больших временных периодах (более 1 года) возникает необходимость в достаточно мощных вычислительных системах, поскольку построение трендовой линии происходит внутри цикла.

Заключение. Выполнена реализация алгоритма программного модуля в виде торгового индикатора на платформе MetaTrader 5 на языке Meta Quotes Language 5 (MQL5) в сочетании со скриптом на Python для алготрейдинга с применением методов технического анализа. В основу алгоритма заложено определение направленности тренда и его силы по встроенному критерию оценки согласно предложенному математическому аппарату.

Применение инструментов технического анализа для разработки программного модуля позволяет гарантировать пользователю не только открытость системы, но и заданную точность прогноза направленности тренда.

Перспективы исследования данного направления прослеживаются в решении большого спектра прикладных задач финансовой математики и аналитики. Применение созданного индикатора может быть расширено на любые торговые операции по различным финансовым инструментам. Апробировав индикатор на валютной паре EUR/USD, открывается возможность использовать его и на других финансовых инструментах или на их комбинациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hernández Martínez Robert*. Automated Investing. Algorithmic Trading in Financial Markets: Expert Advisor (EA), 2022.
2. *Кондратьева Т.Н., Мунтян Е.Р., Развеева И.Ф.* Реализация торгового советника для мультиязычной платформы MetaTrader 5 // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 157-169.
3. *Еремин В.В.* Выбор технического индикатора для российского фондового рынка // Аллея науки. – 2020. – Т. 1, № 11(50). – С. 97-105.
4. *Кондратьева Т.Н.* Комплексный подход анализа современных индикаторов финансового рынка // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 2015. – Т. 22, № 5. – С. 589-590.
5. *Кондратьева Т.Н., Трипуца И.Г., Прудников С.Е.* Оптимизация и тестирование советника в клиентском терминале MetaTrader 5 // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 12-1. – С. 77-83.
6. *Irwin S.H.; Park C.-H.* What do we know about the profitability of technical analysis? J. Econ. Surv. – 2007. – 21. – P. 786-826.
7. Market Technicians Association. CMT Level I 2016: An Introduction to Technical Analysis; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2015.
8. *Северюгин Ю.В., Сошин Н.А.* Классификация автоматизированных биржевых торговых стратегий - торговых роботов // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. – 2022. – № 2(40). – С. 7-11.
9. *Визгунов А.Н., Гольденгорин Б.И., Замараев В.А., Калягин В.А., Колданов А.П., Колданов П.А., Пардалос П.М.* Применение рыночных графов к анализу фондового рынка // Журнал НЭА. – 2012. – № 3 (15). – С. 66-81.
10. *Визгунов А.Н., Трифонов Ю.В.* Применение модели графа доходностей для анализа фондового рынка // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2013. – № 6 (1). – С. 285-289.
11. *Мунтян Е.Р.* Реализация нечеткой модели взаимодействия объектов сложных технических систем на основе графов // Программные продукты и системы. – 2019. – Т. 32, № 3. – С. 411-418. – DOI:10.15827/0236-235X.127.411-418.
12. *Мунтян Е.Р.* Использование нечетких ГН-моделей для представления сложных технических систем // Информатизация и связь. – 2021. – № 3. – С. 55-60. – DOI: 1034219/.2078-8320-2021-12-3-55-60.

13. Vereshun V.D., Kolodenkova A.E., Muntyan E.R. Integrated approach to modeling the objects of complex technical systems // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – Т. 330. – LNNS. – P. 199-204. – DOI: 10.1007/978-3-030-87178-9_20.
14. Кондратьева Т.Н. Предсказание тенденций развития рискованных активов при помощи полосо-боллинджера для российского финансового рынка // *Обозрение прикладной и промышленной математики*. – 2014. – Т. 21, № 1. – С. 63-64.
15. Yanyun Yao, Shangzhen Cai & Huimin Wang. Are technical indicators helpful to investors in china's stock market? A study based on some distribution forecast models and their combinations, *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*. – 2022. – 35:1. – 2668-2692. – DOI: 10.1080/1331677X.2021.1974921.
16. Han Yufeng, Liu Yang, Zhou Guofu and Zhu Yingzi. Technical Analysis in the Stock Market: A Review (May 21, 2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3850494> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3850494>.
17. Nazário R.T.F., Silva J.L., Sobreiro V.A., Kimura H. A literature review of technical analysis on financial asset markets // *Q. Rev. Econ. Financ.* – 2017. – 66. – P. 115-126.
18. Кондратьева Т.Н., Развеева И.Ф. Автоматическая торговая система в клиентском терминале MetaTrader 5 // *Современные наукоемкие технологии*. – 2018. – № 10. – С. 56-60.
19. Белокопская Е.Г., Калягин И.И. Развитие инструментальных средств алготрейдинга на основе применения нейронных сетей // *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. – 2017. – № 1 (31). – С. 53-56.
20. Zhang Chao, Zhang Yihuang, Cucuringu Mihai and Qian Zhongmin. Volatility Forecasting with Machine Learning and Intraday Commonality (May 2022).
21. Kondratieva T., Prianishnikova L., Razveeva I. Machine learning for algorithmic trading // *E3S Web of Conferences*. Moscow. – 2020. – P. 01019. – DOI: 10.1051/e3sconf/202022401019.
22. Кондратьева Т.Н. Прогнозирование тенденции финансовых временных рядов с помощью нейронной сети LSTM // *Интернет-журнал «Науковедение»*. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 61.
23. Chen W. Comparative study on volatility prediction effect of Shanghai Composite Index Based on deep learning // *Stat. Inf. Forum* 2018. – 2018. – 33. – P. 99-106.
24. Lei B., Zhang B., Song Y. Volatility Forecasting for High-Frequency Financial Data Based on Web Search Index and Deep Learning Model. *Mathematics*. – 2021. – 9 (4). – 320 p. – <https://doi.org/10.3390/math9040320>.

REFERENCES

1. Hernández Martínez Robert. Automated Investing. Algorithmic Trading in Financial Markets: Expert Advisor (EA), 2022.
2. Kondrat'ieva T.N., Muntyan E.R., Razveeva I.F. Realizatsiya torgovogo sovetnika dlya mult'irynnochnoy platformy MetaTrader 5 [Implementation of a trading advisor for the MetaTrader 5 multi-market platform]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 4, pp. 157-169.
3. Eremin V.V. Vybor tekhnicheskogo indikatora dlya rossiyskogo fondovogo rynka [The choice of a technical indicator for the Russian stock market]. *Alleya nauki* [Alley of Science], 2020, Vol. 1, No 11(50), pp. 97-105.
4. Kondrat'ieva T.N. Kompleksnyy podkhod analiza sovremennykh indikatorov finansovogo rynka [An integrated approach to the analysis of modern indicators of the financial market]. *Obzrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki* [Review of Applied and Industrial Mathematics], 2015, Vol. 22, No 5, pp. 589-590.
5. Kondrat'ieva T.N., Triputa I.G., Prudnikov S.E. Optimizatsiya i testirovanie sovetnika v klientskom terminale MetaTrader 5 [Optimization and testing of the Expert Advisor in the MetaTrader 5 client terminal], *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2018, No 12-1, pp. 77-83.
6. Irwin S.H.; Park C.-H. What do we know about the profitability of technical analysis?, *J. Econ. Surv.*, 2007, 21, pp. 786-826.
7. Market Technicians Association. CMT Level I 2016: An Introduction to Technical Analysis; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2015.
8. Sevryugin Yu.V., Soshin N.A. Klassifikatsiya avtomatizirovannykh birzhevykh torgovykh strategiy - torgovykh robotov [Classification of automated exchange trading strategies - trading robots]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossiyskiy i zarubezhnyy opyt* [Actual problems and prospects for the development of the economy: Russian and foreign experience], 2022, No. 2 (40), pp. 7-11.

9. Vizgunov A.N., Goldengorin B.I., Zamaraev V.A., Kalyagin V.A., Koldanov A.P., Koldanov P.A., Pardalos P.M. Primenenie rynochnykh grafov k analizu fondovogo rynka [Application of market graphs to stock market analysis]. *Zhurnal NEA* [NEA Journal], 2012, No. 3 (15), pp. 66-81.
10. Vizgunov A.N., Trifonov Yu.V. Primenenie modeli grafa dohodnostey dlya analiza fondovogo rynka [Application of the yield graph model for stock market analysis]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky], 2013, No. 6 (1), pp. 285-289.
11. Muntyan E.R. Realizatsiya nechetkoy modeli vzaimodeystviya ob"ektov slozhnykh tekhnicheskikh sistem na osnove grafov [Implementation of a fuzzy model of interaction between objects in complex technical systems based on graphs], *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2019, Vol. 32, No. 3, pp. 411-418. DOI: 10.15827/0236-235X.127.411-418.
12. Muntyan E.R. Ispol'zovanie nechetkikh GH-modeley dlya predstavleniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Using fuzzy GH-models to represent the complex technical systems], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2020, No. 3, pp. 55-60. DOI: 1034219/.2078-8320-2021-12-3-55-60.
13. Vereshun V.D., Kolodenkova A.E., Muntyan E.R. Integrated approach to modeling the objects of complex technical systems, *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 330, LNNS, pp. 199-204. DOI: 10.1007/978-3-030-87178-9_20.
14. Kondrat'ieva T.N. Predskazanie tendentsiy razvitiya riskovykh aktivov pri pomoshchi polos Bollindzhera dlya rossiyskogo finansovogo rynka [Prediction of trends in the development of risky assets using Bollinger bands for the Russian financial market], *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki* [Review of Applied and Industrial Mathematics], 2014, Vol. 21, No. 1, pp. 63-64.
15. Yanyun Yao, Shangzhen Cai & Huimin Wang. Are technical indicators helpful to investors in china's stock market? A study based on some distribution forecast models and their combinations, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2022, 35:1, 2668-2692. DOI: 10.1080/1331677X.2021.1974921.
16. Han Yufeng, Liu Yang, Zhou Guofu and Zhu Yingzi. Technical Analysis in the Stock Market: A Review (May 21, 2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3850494>.
17. Nazário R.T.F., Silva J.L., Sobreiro V.A., Kimura H. A literature review of technical analysis on financial asset markets. *Q. Rev. Econ. Financ.* 2017, 66, pp. 115-126.
18. Kondrat'ieva T.N., Rveveeva I.F. Avtomaticheskaya torgovaya sistema v klientskom terminale MetaTrader 5 [Automated trading system in the MetaTrader 5 client terminal], *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies], 2018, No. 10, pp. 56-60.
19. Belokonskaya E.G., Kalyagin I.I. Razvitie instrumental'nykh sredstv algotreydinga na osnove primeneniya neyronnykh setey [Development of tools for algorithmic trading based on the use of neural networks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom* [News of higher educational institutions. Series: Economics, finance and production management], 2017, No. 1 (31), pp. 53-56.
20. Zhang Chao, Zhang Yihuang, Cucuringu Mihai and Qian Zhongmin. Volatility Forecasting with Machine Learning and Intraday Commonality (May 2022).
21. Kondratieva T., Prianishnikova L., Razveeva I. Machine learning for algorithmic trading. *E3S Web of Conferences*, Moscow, 2020, pp. 01019. DOI 10.1051/e3sconf/202022401019.
22. Kondrat'ieva T.N. Prognozirovanie tendentsiy finansovykh vremennykh ryadov s pomoshch'yu neyronnoy seti LSTM [Forecasting trends of financial time series using the LSTM neural network]. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"* [Online journal of "Science Studies"], 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 61.
23. Chen W. Comparative study on volatility prediction effect of Shanghai Composite Index Based on deep learning. *Stat. Inf. Forum*, 2018, 2018, 33, 99-106.
24. Lei B., Zhang B., Song Y. Volatility Forecasting for High-Frequency Financial Data Based on Web Search Index and Deep Learning Model. *Mathematics*, 2021, 9 (4), 320 p. Available at: <https://doi.org/10.3390/math9040320>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Э.В. Мельник

Кондратьева Татьяна Николаевна – Донской государственный технический университет; e-mail: ktn618@yandex.ru; г. Ростов-на-Дону, Россия; тел.: 88632738628; кафедра математики и информатики; к.т.н.; доцент.

Развеева Ирина Федоровна – e-mail: razveevai@mail.ru; тел.: 88632738628; кафедра математики и информатики; старший преподаватель.

Оноре Глеб Станиславович – e-mail: onoreg@mail.ru; тел.: 89613213583; студент.

Мунтян Евгения Ростиславна – Южный федеральный университет; e-mail: ermuntyan@sfnu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371608; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

Kondratieva Tatyana Nikolaevna – Don State Technical University; e-mail: ktn618@yandex.ru; Rostov-on-Don, Russia; phone: +78632738628; the department of mathematics and informatics; cand. of eng. sc.; associate professor.

Razveeva Irina Fedorovna – e-mail: razveevai@mail.ru; phone: +78632738628; the department of mathematics and informatics; senior lecturer.

Onore Gleb Stanislavovich – e-mail: onoreg@mail.ru; phone: +78632738628; the department of mathematics and informatics; student.

Muntyan Evgenia Rostislavna – Southern Federal University; e-mail: ermuntyan@sfnu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371608; the department of computer science; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.35.035

DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-75-85

С.П. Новиков

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ОТКЛИКА

Обнаружение опасных газов и паров, актуально как на производстве, так и в повседневной жизни. Сенсорные элементы на основе полупроводниковых структур обладают высокой чувствительностью к газам самой различной природы. Для повышения точности измерений, калибровки и скорости определения концентрации требуются специальные методы, такие, например, как обработка сигналов различными способами. В исследовании используются газовые сенсоры на основе кремний-углеродных пленок, чувствительные к целому набору газов. В первой части статьи рассматриваются общие проблемы и метод их решения позволяющий повысить селективность полупроводниковых сенсоров газа. Проведен анализ динамических параметров, таких как первая и вторая производная кривых отклика, а также анализ уравнения Еловича. Такие калибровочные зависимости, построенные по экстремумам производных и коэффициентам наклона уравнения Еловича, показывают высокую линейность. В качестве перспективного решения предлагается использование набора калибровочных прямых, для определения концентрации искомого газа. Разработанный метод позволяет, используя динамические параметры отклика определить газ и его концентрацию, используя единственный сенсор, также повысить точность измерений, наряду, с сокращением времени детектирования. Представлены экспериментально полученные результаты обработки данных с определением искомого газа и его концентрации, используя описанный метод. Для сенсора на основе кремний-углеродных материалов разработанный метод и алгоритмы позволили провести измерения с использованием единичного сенсорного элемента для набора газов (NO_2 , CO , SO_2) с различной концентрацией. При этом наименьшая относительная погрешность, не превысила 3.6% для SO_2 , 2.7% для NO_2 , 2% для CO . Отличительными особенностями разработанного метода является использование нескольких калибровочных прямых в многомерном пространстве, а не одной, а также оригинальный алгоритмический аппарат обработки сигналов.

Газоанализатор; сенсор; отклик; обработка данных; метод измерений; калибровочные зависимости; распознавание.