

УДК 339.371.246

А. С. Васюра, к. т. н., проф.; И. В. Васильев

## МОДЕЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ

*Предложена модель экспертной системы, которая использует показатели моделей двух индикаторов временного ряда для принятия решения. Первый из индикаторов определяет тенденцию роста ряда, второй – находит локальные экстремумы, используя разностные производные. Параметры первого определяются с помощью цифровой фильтрации входного временного ряда. Параметры построения цифрового фильтра оптимизируются во время работы экспертной системы в режиме реального времени. Также предложен критерий эффективности принятия решений и с его помощью оценена эффективность работы системы.*

**Ключевые слова:** временной ряд, технический анализ, цифровой индикатор, скользящее среднее, период, цифровой фильтр, эффективность.

### Актуальность

Моделирование временных рядов (ВР) используется для описания и прогнозирования разных процессов (колебания суточных температур, потребления электроэнергии на протяжении суток). Одним из типичных представителей ВР является финансовый временной ряд (ФВР). Для создания моделей на финансовых временных рядах используются такие средства технического анализа (ТА), как цифровые индикаторы (ЦИ). Чем ближе к локальному минимуму (максимуму) принимается решение, тем большая эффективность прогноза временного ряда. Наилучшие показатели получаются в результате использования комбинации нескольких методов [1, 2].

Методы использования скользящих средних для принятия решений классические и хорошо известны. При построении большинства существующих ЦИ используют упрощенные цифровые фильтры. Такой подход возник исторически, из-за малых вычислительных мощностей, которые использовались в начале исследований по цифровой фильтрации. Их главные недостатки – существенная фазовая задержка и искажение первичной формы сигнала, что снижает эффективность их работы из-за пропуска пиковых моментов для принятия решений [3].

Для построения современных индикаторов следует применять цифровые фильтры [1 – 3]. Идеальные индикаторы должны отображать амплитуду сигнала и двигаться с ним в одной фазе. Моделирование временных рядов с использованием цифровой фильтрации позволит разработать модель системы принятия решений для анализа их поведения.

Использование методов цифровой фильтрации поможет в усовершенствовании и разработке новых цифровых индикаторов. Анализ и оценка индикаторов позволит принимать решения о нахождении локальных экстремумов временных рядов и повышать эффективность работы экспертных систем. Таким образом, использование технического анализа как составляющей интеллектуальных технологий поможет в прогнозировании временных рядов [4, 5].

В связи с нерешёнными проблемами в точной идентификации моментов локальных экстремумов предлагается разработать модель системы принятия решений, которая будет оценивать и анализировать показатели моделей двух цифровых индикаторов. Необходимо усовершенствование использования цифровой фильтрации для построения одного из индикаторов. **Основное задание** данной работы – построение модели системы принятия решений на временных рядах. Целью исследования является повышение эффективности принятия решений. **Объектом** исследования является процесс принятия решений.

### 1. Построение индикатора нижних производных временного ряда

Дискретные величины используются для представления оригинальных величин при

обработке на ЭВМ. Для определения производных дискретного процесса удобно использовать разностные методы [6]. Первую производную можно найти следующим образом:

$$X'(t) = \frac{X(t) - X(t-T)}{T}, \quad (1)$$

где  $X'(t)$  – первая производная ВР в момент  $t$ ,  $X(t)$  – значение ВР в момент  $t$ ,  $X(t-T)$  – значение ВР в момент, который предшествует  $t$  на период,  $T$  – период дискретизации.

Вторую производную можно определить аналогично (1), зная первые производные  $X'(t)$  и  $X'(t-T)$ :

$$X''(t) = \frac{X'(t) - X'(t-T)}{T}, \quad (2)$$

где  $X''(t)$  – вторая производная ВР в момент  $t$ .

По оценке  $X'(t)$  и  $X''(t)$  можно построить модель принятия решений о движении ВР по таким правилам:

- 1) интенсивный рост ВР при одновременном положительном значении  $X'(t)$  и  $X''(t)$ ;
- 2) интенсивное падение ВР при одновременном отрицательном значении  $X'(t)$  и  $X''(t)$ ;
- 3) неопределенное состояние развития ситуации при разных знаках  $X'(t)$  и  $X''(t)$ .

На основании указанных правил предлагается модель характера движения ВР, которая базируется на оценке нижних производных:

$$\begin{cases} TS(t) = \max, X'(t) > 0 \cap X''(t) > 0; \\ TS(t) = \min, X'(t) < 0 \cap X''(t) < 0; \\ TS(t) = \text{flat}, X'(t) \cdot X''(t) \leq 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $TS(t)$  – значение индикатора,  $\max$  – достижение локального максимума,  $\min$  – достижение локального минимума,  $\text{flat}$  – неопределённость экстремумов в момент  $t$ .

На основании разработанной модели можно построить ряды, которые будут соответствовать значениям первой и второй производным ряда. Графическое представление построения модели разработанного индикатора показано на рисунке 1.

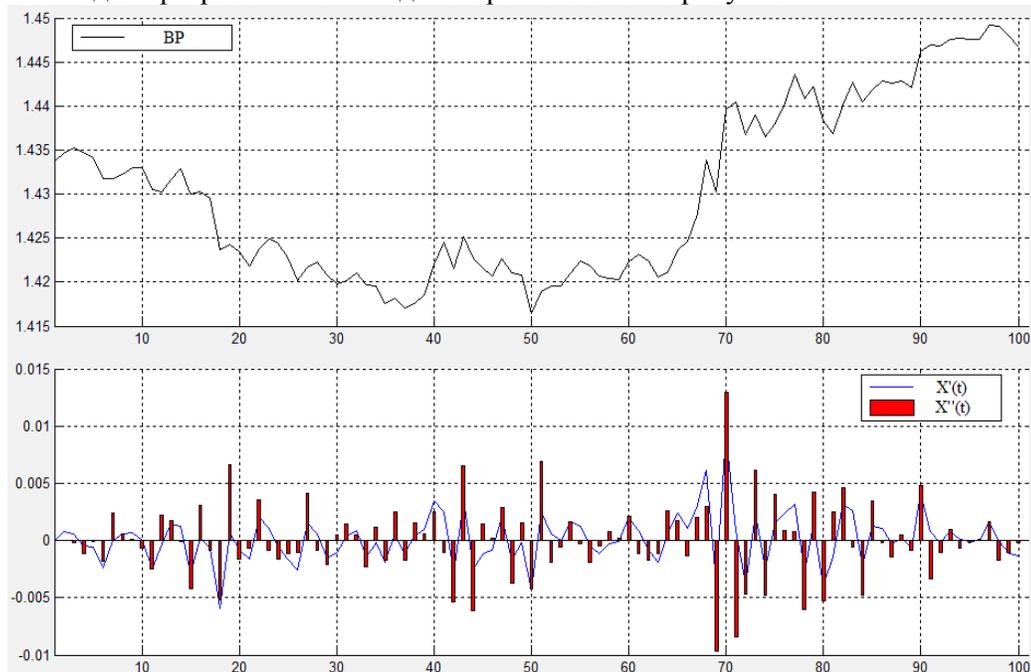


Рис. 1. Значение индикатора нижних производных ВР

Разработанная модель для прогнозирования финансовых ВР имеет еще одну особенность. Для принятия решений важным является количественное сравнение изменения первой производной за один и за несколько десятков последних периодов. Абсолютный прирост позволяет оценить величина периода. В знаменателе формул (1) и (2) учитывается время. Величину периода можно оценивать в минутах. Все большие периоды кратны минуте, а следующий период кратный предыдущему. Поэтому для каждого из периодов можно определить среднюю скорость и сравнить ее с мгновенной. Это укажет на абсолютную интенсивность изменения скорости или ускорения.

## 2. Построение модели индикатора определения тенденции движения ВР

Существуют известные индикаторы для определения тенденции движения ВР. Они базируются на определении скользящих средних ряда с разными периодами и сравнении их значений [7, 8]. Для определения простой скользящей средней ряда (Simple Moving Average) используется формула (4).

$$SMA(t) = \frac{X(t) + X(t - 1 \cdot T) + \dots + X(t - k \cdot T)}{k}, \quad (4)$$

где  $X(t)$  – значение временного ряда в последний период,  $X(t - k \cdot T)$  – значение ВР  $k$  периодов назад,  $k$  – порядок среднего.

Под порядком среднего понимают количество членов ряда, которые используются для нахождения среднего. По похожим формулам рассчитываются другие скользящие (сглаженная, линейно-взвешенная, экспоненциальная).

Для усовершенствования модели определения тенденции движения ВР воспользуемся рисунком 2, на котором изображены две скользящие средние с периодами 5 (штриховая – быстрая средняя) и 14 (сплошная – медленная средняя).

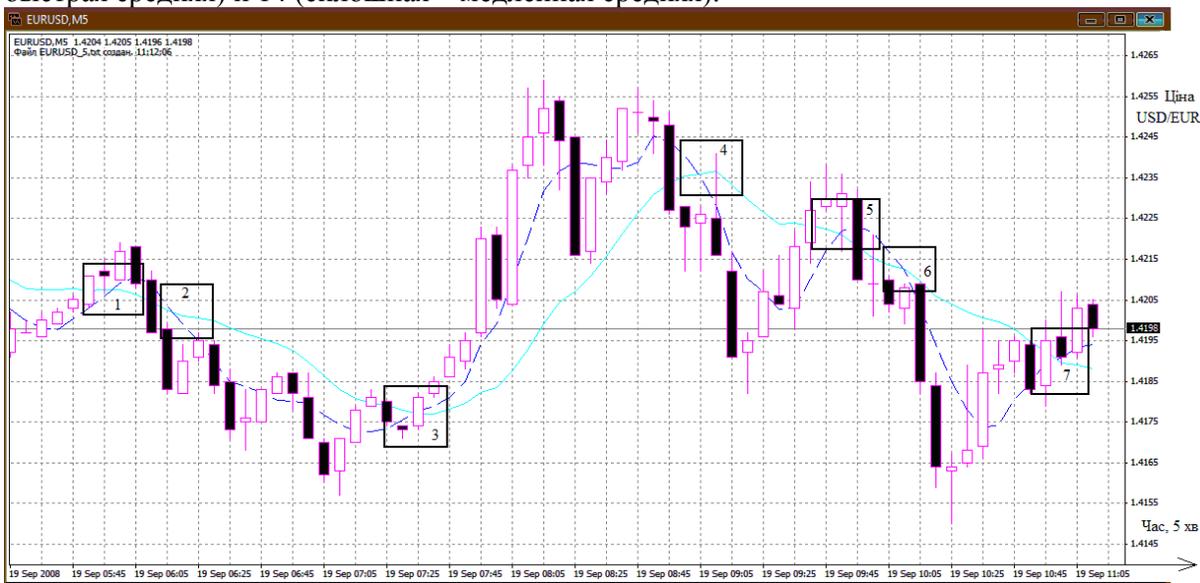


Рис. 2. Использование скользящих для оценивания ВР

Для оценивания тенденции движения ВР необходимо воспользоваться разницей быстрой и медленной скользящих:

$$\nabla = FastSMA(i) - SlowSMA(i), \quad (5)$$

где  $FastSMA(i)$  – быстрая скользящая средняя,  $SlowSMA(i)$  – медленная скользящая средняя.

Когда разница изменяет знак с отрицательного на положительный – это локальный минимум (моменты для покупки – № 1, 3, 5, 7). Изменение знака из положительного на отрицательный – обозначение локального максимума (момент для продажи – № 2, 4, 6).

На основе проведенного анализа можно сформировать модель правил для определения тенденций движения ряда:

- 1) когда быстрая скользящая больше медленной – ряд возрастает;
- 2) когда быстрая скользящая меньше медленной – ряд уменьшается;
- 3) в случае равенности быстрой и медленной скользящих – наступает переходный момент.

Модель оценивания тенденции движения ВР представлена формулой (6).

$$\begin{cases} trend = up, fast(t) \geq slow(t); \\ trend = down, fast(t) < slow(t), \end{cases} \quad (6)$$

где  $trend$  – показатель модели индикатора в последний период,  $up, down$  – возрастание или падение ВР,  $fastMA$  – быстрый индикатор движения ВР,  $slowMA$  – медленный индикатор движения ВР.

Для качественного построения индикаторов следует воспользоваться цифровой фильтрацией, которая уменьшит влияние шумов и циклов с большой частотой на показатели быстрого и медленного индикаторов.

Значения цифрового индикатора, которые рассчитываются с помощью цифрового фильтра определяются:

$$Y(t) = b_0 \cdot X(t) + b_1 \cdot X(t-T) \dots - a_1 \cdot Y(t-T) - a_2 \cdot Y(t-2T) - \dots, \quad (7)$$

где  $X$  – входной временной ряд,  $Y$  – выходной ВР индикатора,  $a_i$  и  $b_i$  – набор весовых коэффициентов фильтра.

Параметры  $a_i$  и  $b_i$  определяются из передаточной функции фильтра:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}}. \quad (8)$$

Для построения передаточной функции следует задать три параметра, как это видно из АЧХ, изображенной на рисунке 3:

1. Порядок фильтра.
2. Пульсация в полосе пропускания – формула 9 (нормированная).

$$P = \frac{p}{s}. \quad (9)$$

3. Частота среза – формула 10 (нормированная).

$$F = \frac{c_1}{d_1}. \quad (10)$$

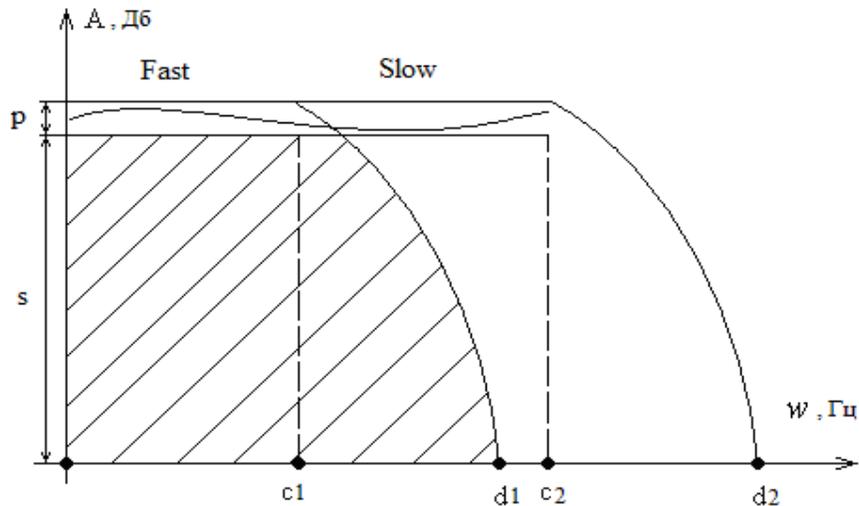


Рис. 3. АЧХ фильтров для построения быстрого и медленного индикаторов

Выбор параметров фильтров является довольно формализованной процедурой, но их постоянные значения не удовлетворяют условия постоянного изменения поведения исследуемых рядов. Поэтому необходимо разработать алгоритм оптимизации параметров построения фильтра для быстрого индикатора.

### 3. Оптимизация параметров фильтра низких частот

Оптимизации подлежат два параметра ФНЧ – это нормированная частота среза и пульсация в полосе пропускания [9]. Основная идея оптимизации состоит в фиксации параметров одного из двух фильтров, который используется для построения соответствующих индикаторов. Для варьирования выбраны параметры фильтра быстрого индикатора, потому что при этом устанавливаются ограничения на минимальную частоту пропускания. Параметры фильтра оптимизируют путём полного перебора с заданным шагом 0.01. При этом формируется трёхмерная функция, аргументами которой будут оптимизированные параметры. Величина пульсации и частоты среза, при которых система принятия решений покажет наибольшую эффективность, и будут считаться оптимальными.

Структура алгоритма оптимизации показана на рисунке 4. После проведения оптимизации функция цели имеет вид, который изображен на рисунке 5.

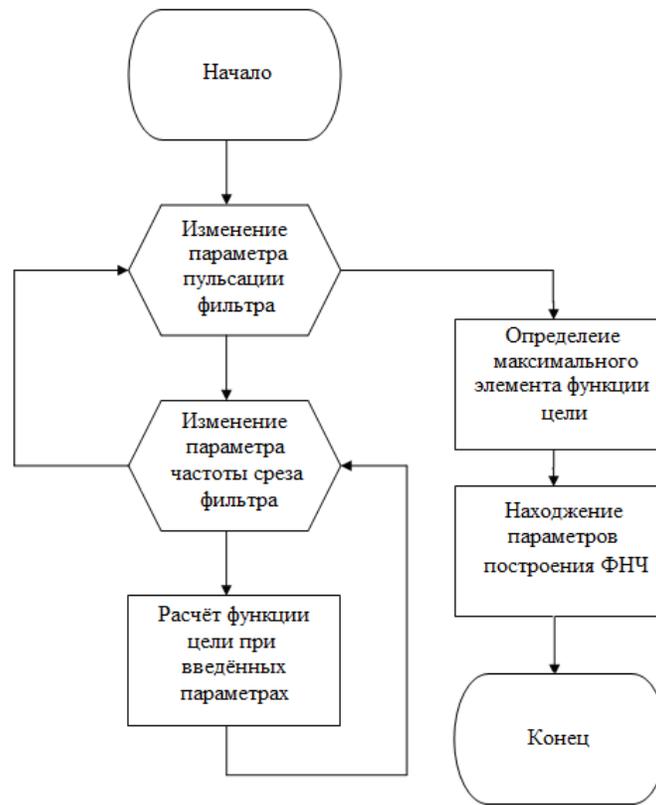


Рис. 4. Алгоритм оптимизации параметров ФНЧ

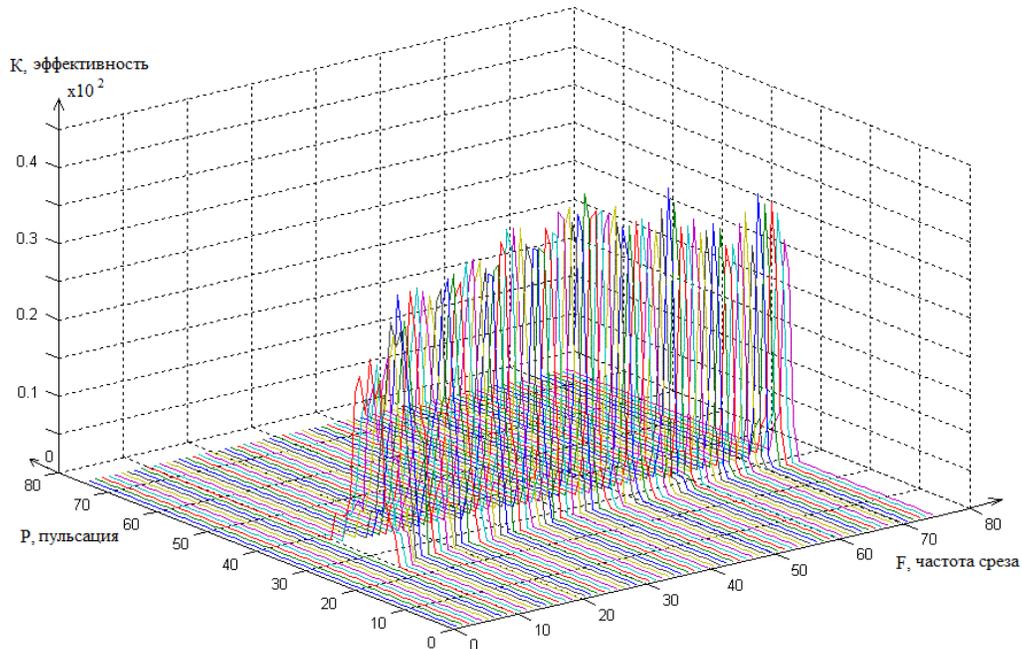


Рис. 5. Функция цели после проведения оптимизации

Максимальный элемент функции цели отображает те параметры цифрового фильтра, при которых поведение временного ряда прогнозируется наилучшим образом. После расчёта новых параметров ФНЧ следует рассчитать его коэффициенты и построить соответствующий индикатор.

Для проведения оптимизации следует определить параметр, по которому она будет проводиться.

#### 4. Определения критерия эффективности принятия решений

Для определения критерия эффективности воспользуемся формулой коэффициента полезного действия любой системы или процесса:

$$K = \frac{N_1}{N_2} \cdot 100\% . \quad (11)$$

В формуле (11) величина  $N_1$  характеризует полученный выигрыш от прогнозирования временного ряда. Величина  $N_2$  характеризует общий рост ФЧР [10, 11].

Формирование обеих величин  $N_1$  и  $N_2$  будет проходить по похожим правилам. Разница будет состоять лишь в том, что  $N_1$  будет отображать реальный выигрыш, полученный от работы системы принятия решений, а  $N_2$  – выигрыш от гипотетически возможных правильных прогнозов на протяжении выбранного промежутка времени [3].

Совокупность принятых решений определит  $N_1$ :

$$N_1 = \sum_{i=1}^n (s_i - b_i) , \quad (12)$$

где  $b_i$  – величина ряда на начало прогноза,  $s_i$  – величина ряда на конец прогноза,  $n$  – количество прогнозов.

Чтобы определить общее движение ВР за выбранный промежуток времени необходимо определить величину  $N_2$ :

$$N_2 = \sum_{j=1}^k (|c_j - o_j|) , \quad (13)$$

где  $c_i$  – цена в конце каждого дискретного периода,  $o_i$  – цена в начале периода,

$k$  – общее количество периодов выбранного промежутка времени для прогнозирования.

Общий критерий эффективности принятия решений будет иметь следующий вид:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - b_i)}{\sum_{j=1}^k (|c_j - o_j|)} \cdot 100\% . \quad (14)$$

Максимального значения критерий эффективности может достичь при условии точных прогнозов на протяжении всего исследуемого времени. Отрицательное значение будет указывать на преимущество неверных прогнозов. Чем большего значения достигнет критерий при следовании указаниям выбранной стратегии, тем выше эффективность стратегии [7, 10].

#### 5. Построение модели системы принятия решений

Принимая во внимание разработанные методы оценки ВР через величину индикатора определения тенденции движения, индикатора нижних производных, можно сформировать модель системы принятия решений. Решения о нахождении локального максимума можно принимать при следующем соотношении показателей:

$$fast(t) < slow(t) \cap X'(t) > 0 \cap X''(t) > 0 . \quad (15)$$

Все индикаторы описаны выше. При таком соотношении система принимает решение или рекомендацию о падении ВР.

Определение локального минимума связано с такими показателями:

$$fast(t) > slow(t) \cap X'(t) < 0 \cap X''(t) < 0 . \quad (16)$$

При таком соотношении систем принимает решение о падении ВР.

Последние 6 возможных ситуаций, которые не вошли в (15) и (16), не будут сигналами системе о принятии новых решений. Значения индикаторов модели в этом случае будут такими:

$$\begin{aligned}
 & fast(t) < slow(t) \cap X'(t) > 0 \cap X''(t) < 0 \cup \\
 & fast(t) < slow(t) \cap X'(t) < 0 \cap X''(t) > 0 \cup \\
 & fast(t) < slow(t) \cap X'(t) < 0 \cap X''(t) < 0 \cup \\
 & fast(t) > slow(t) \cap X'(t) < 0 \cap X''(t) > 0 \cup \\
 & fast(t) > slow(t) \cap X'(t) > 0 \cap X''(t) < 0 \cup \\
 & fast(t) > slow(t) \cap X'(t) > 0 \cap X''(t) > 0.
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

При этом не следует формировать рекомендации про движение ВР в любом направлении [9].

Алгоритм модели принятия решений показан на рисунке 6.

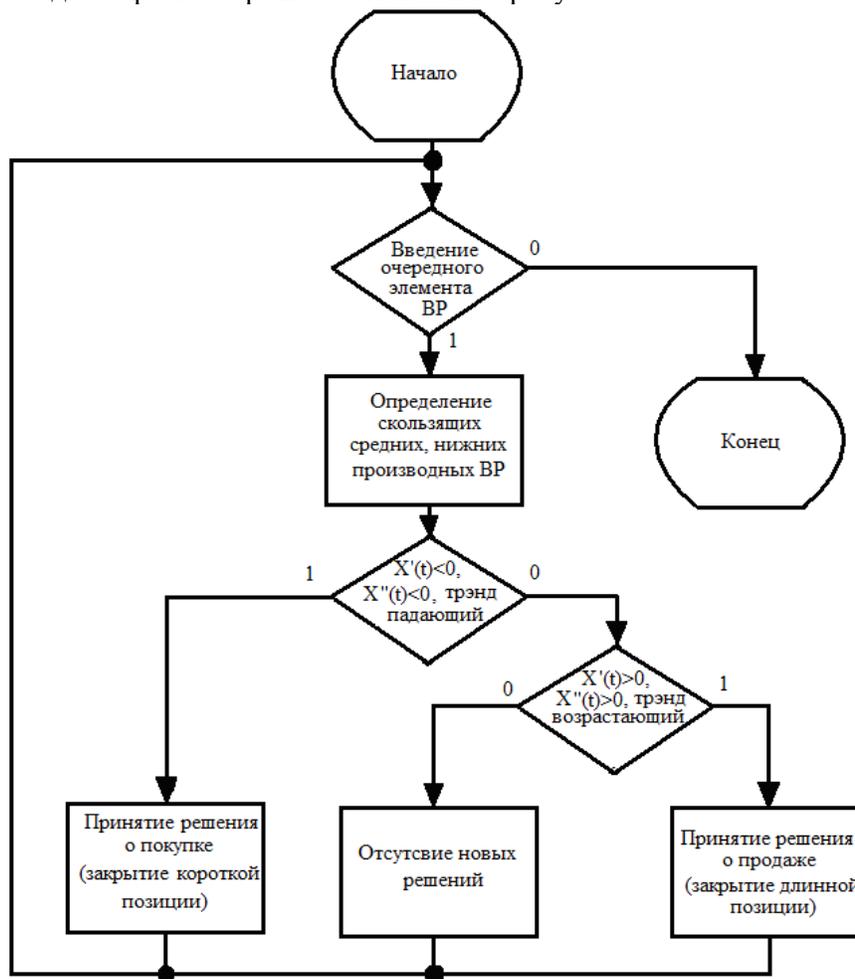


Рис. 6. Алгоритм принятия решений

Разработанная модель реализована с помощью индикатора в среде инженерных расчётов MATLAB. Для построения быстрого индикатора движения ВР параметры фильтра составляли: пульсация  $P = 0.34$ , а частота среза  $F = 0.15$ . Эффективность системы при этом составила 12.88%. После проведения оптимизации параметры фильтра определились как:  $P = 0.3$  для пульсации и частота среза  $F = 0.42$ . Эффективность при этом составила 34.12%.

Графическая интерпретация работы модели принятия решений изображена на рисунке 7.

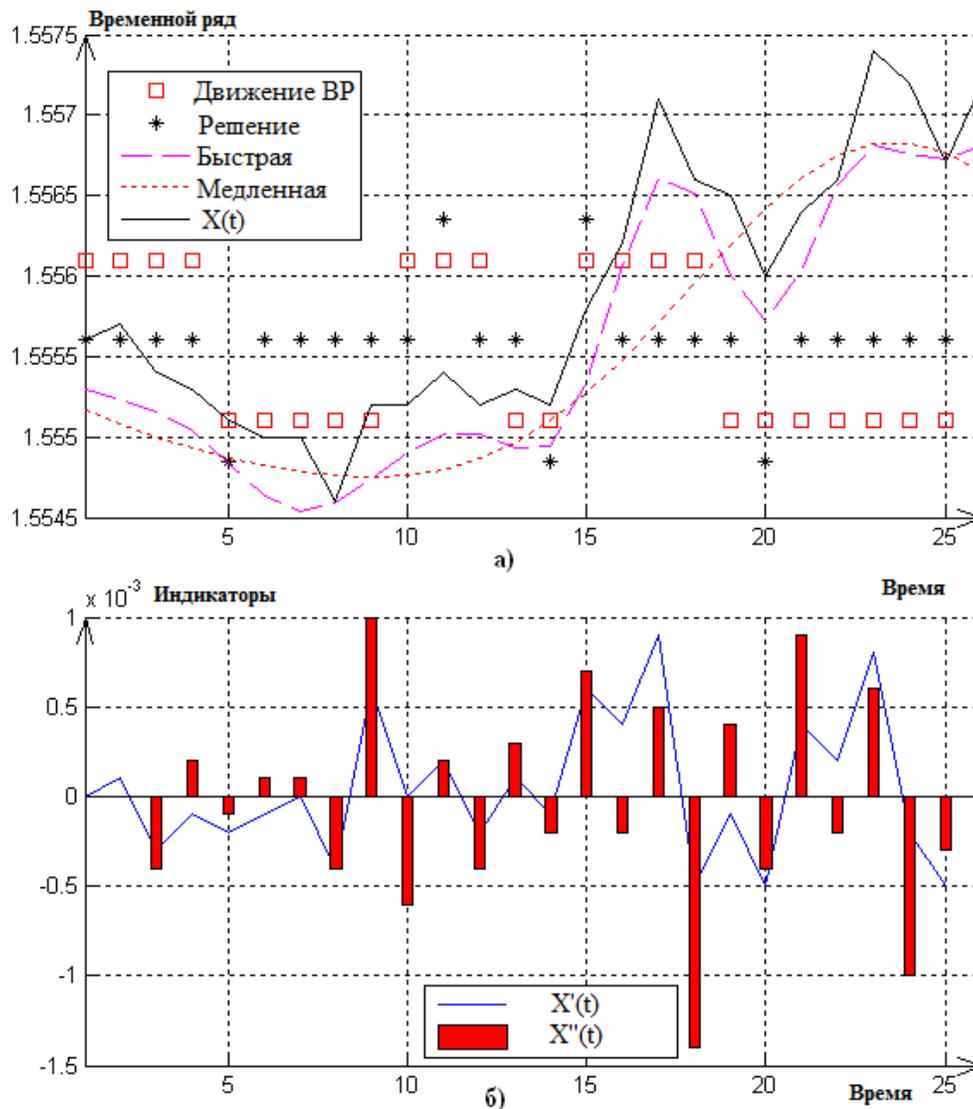


Рис. 7. Иллюстрация работы индикатора

На части а) изображено значения цены закрытия («X(t)», сплошной линией) на пятиминутном графике (всего отображено 25 периодов). Индикатор направления движения ряда показан квадратами и строится по линиям «Быстрая» и «Медленная». Периоды, когда тренд падает, отображены квадратами ниже средней линии, когда растёт – выше. На части б) рисунка 7 изображены скорость (сплошная ломаная) и ускорение (диаграмма столбцами) временного ряда. После периода № 5, когда направление движения ряда указывает на падение тренда, а производные – отрицательные, индикатор срабатывает и указывает на минимум – покупка по низкой цене (1,5551). Потом, при противоположном значении движения ВР и позитивных индикаторах скорости и ускорения, рекомендуется продавать по высокой цене (локальный максимум 1,5554). При этом длинная позиция закрылась (произошла сначала покупка, потом – продажа). Прибыль составила 3 пункта за 30 минут астрономического времени. После периода № 11 открывается короткая позиция (продажа), а после периода № 14 эта позиция закрывается с прибылью в 2 пункта. При подключении индикатора к торговой платформе, система будет работать автоматически. Следует также отметить, что индикатор показывал позитивные результаты работы на всех без исключения периодах. Предложенный индикатор не требует анализа графиков меньших периодов, потому что обработка информации и решения принимаются после формирования значения текущего периода.

## Выводы

Усовершенствована модель цифрового индикатора ВР на цифровых фильтрах. Для этого проанализирована возможность применения фильтров нижних частот с разными полосами пропускания. Важным моментом при этом является взаимное соотношение ВР, полученных при помощи разных фильтров.

Разработана модель цифрового индикатора ВР на основе определения нижних производных, что позволяет оценивать интенсивность движения и определять экстремумы ряда, повышая эффективность принятия решений на временных рядах.

Разработана модель принятия решений на временных рядах, которая использует комбинацию двух индикаторов. Один из них определяет тенденцию движения ряда, а второй указывает на приближение экстремума. Разработанная модель, в отличие от существующих, учитывает поведение временного ряда в реальном времени, что позволяет найти и настроить параметры модели, чтобы повысить эффективность прогнозирования ряда.

Предложен критерий эффективности принятия решений на финансовых временных рядах, что позволяет оценить качество работы системы принятия решений на основе построенных индикаторов. Разработанный критерий эффективности принятия решений даёт возможность сравнивать результаты работы разных стратегий, а также одной и той же стратегии, но с разными параметрами.

Среди возможных направлений последующего развития данной работы можно выделить:

1. Усовершенствование модели экспертной системы принятия решений путём увеличения количества показателей, что анализируются, и увеличения точности определения момента локального минимума (максимума).

2. Разработка новых моделей цифровых индикаторов, чтобы определить риски принятия решений и учесть эти риски во время работы экспертной системы.

3. Повышение эффективности алгоритмов оптимизации параметров цифровых фильтров для построения индикаторов, благодаря определению оптимальных соотношений параметров фильтров при построении скользящих средних и анализе спектра сигнала временного ряда.

4. Исследование показателей индикаторов и приказов системы принятия решений во время принятия убыточных решений и формулирование ограничений использования разработанной модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бэстэнс Д.-Э., ван Ден Берг В.-М., Вуд Д. Нейронные сети и финансовые рынки. Принятие решений в торговых операциях. - СПб.: Питер, 1997. – 235 с.
2. Борзюк А.С. Автоматические торговые стратегии и их тестирование в MetaTrader. – М.: Финансовый консультант, 2004. – 143 с.
3. Гульятёв А.Л. Визуальное моделирование в среде MATLAB. – СПб.: Питер, 2000. – 368 с.
4. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – СПб.: Политехника, 1999. – 238 с.
5. Элдер А., Основы биржевой торговли. - М.: Библиотека трейдера, 2005. - 113 с.
6. Кветний Р.Н. Методи комп'ютерних обчислень. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДГУ, 2001. – 148 с.
7. Жижилев В.И., Оптимальные стратегии извлечения прибыли на рынке FOREX и рынке ценных бумаг. - М.: Финансовый консультант, 2002. – 280 с.
8. Отнэс Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. - М: Мир, 1982. – 429 с.
9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб: Питер, 2003. – 604 с.
10. Андреев И.В., Ланнэ А.А. MATLAB для DSP: SPTool – инструмент для расчёта цифровых фильтров и спектрального анализа сигналов // Цифровая обработка сигналов. – 2000. – № 2. – С. 6 – 13.

**Васюра Анатолий Степанович** – к. т. н., профессор, директор института АЭКСУ ВНТУ, +380-432-438-660, su@inaeksu.vstu.vinnica.ua.

**Васильев Игорь Викторович** – аспирант кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники ВНТУ, +380-679-959-485, vasylieviv@gmail.com.

Винницкий национальный технический университет.