

УДК 339.371.246

А. С. Васюра, к. т. н., проф.; І. В. Васильєв

МОДЕЛЬ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ФІНАНСОВИХ ЧАСОВИХ РЯДАХ

Запропоновано модель експертної системи, що використовує показники моделей двох індикаторів часового ряду для прийняття рішень. Перший з індикаторів визначає тенденцію росту ряду, другий – знаходить локальні екстремуми, використовуючи різниці похідні. Параметри першого визначаються за допомогою цифрової фільтрації вхідного часового ряду. Параметри побудови цифрового фільтра оптимізуються під час роботи експертної системи в режимі реального часу. Також запропоновано критерій ефективності прийняття рішень та з його допомогою оцінено ефективність роботи системи.

Ключові слова: часовий ряд, технічний аналіз, цифровий індикатор, ковзне середнє, період, цифровий фільтр, ефективність.

Актуальність

Моделювання часових рядів (ЧР) використовується для опису та прогнозування різних процесів (коливання добових температур, споживання електроенергії протягом доби). Одним із типових представників ЧР є фінансовий часовий ряд (ФЧР). Для створення моделей на фінансових часових рядах використовують такі засоби технічного аналізу (ТА), як цифрові індикатори (ЦІ). Чим ближчим до локального максимуму (мінімуму) ряду приймається рішення, тим більшою є ефективність прогнозу часового ряду. Найкращі показники отримуються в результаті застосування комбінації декількох методів [1, 2].

Методи застосування ковзних середніх для прийняття рішень є класичними та добре відомими. При побудові більшості існуючих ЦІ використовують спрощені цифрові фільтри. Такий підхід виник історично, через малі обчислювальні потужності, що використовувались на початку досліджень із цифрової фільтрації. Їхні головні недоліки – значне фазове запізнення та спотворення первинної форми сигналу, що знижує ефективність їхньої роботи через пропуск пікових моментів для прийняття рішень [3].

Для побудови сучасних індикаторів варто застосовувати цифрові фільтри [1 – 3]. Ідеальні індикатори мають відтворювати амплітуду сигналу та рухатися з ним у одній фазі. Моделювання часових рядів за допомогою цифрової фільтрації дозволить розробити модель системи прийняття рішень для аналізу їх поведінки.

Застосування методів цифрової фільтрації сигналів допоможе в удосконаленні та розробці нових цифрових індикаторів. Аналіз та оцінка індикаторів дозволить приймати рішення про знаходження локальних екстремумів часових рядів та підвищувати ефективність роботи експертних систем. Отже застосування технічного аналізу як складової інтелектуальних технологій допоможе в прогнозуванні часових рядів [4, 5].

Через невирішені проблеми в точній ідентифікації моментів локальних екстремумів пропонується розробити модель системи прийняття рішень, що оцінюватиме та аналізуватиме показники моделей двох цифрових індикаторів. Потребує вдосконалення застосування цифрової фільтрації до побудови одного із індикаторів. **Основне завдання** цієї Наукові праці ВНТУ, 2009, № 4

роботи – побудова моделі системи прийняття рішень на часових рядах. **Метою** дослідження є підвищення ефективності прийняття рішень. **Об'єктом** дослідження є процес прийняття рішень.

1. Побудова індикатора нижчих похідних часового ряду

Дискретні величини використовуються для представлення оригінальних величин при обробці на ЕОМ. Для визначення похідних дискретного процесу зручно скористатись різницевими методами [6]. Першу похідну можна знайти таким чином:

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

де $X'(t)$ – перша похідна ЧР в момент t , $X(t)$ – значення ЧР в момент t , $X(t-T)$ – значення ЧР в момент, що передує t на період, T – період дискретизації.

Другу похідну можна визначити аналогічно до (1), знаючи перші похідні $X'(t)$ та $X'(t-T)$:

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

де $X''(t)$ – друга похідна ЧР в момент t .

На оцінці $X'(t)$ та $X''(t)$ можна побудувати модель прийняття рішень про рух ЧР за такими правилами:

- 1) інтенсивний ріст ЧР при одночасному додатному значенні $X'(t)$ та $X''(t)$;
- 2) інтенсивне падіння ЧР при одночасному від'ємному значенні $X'(t)$ та $X''(t)$;
- 3) невизначений стан розвитку ситуації при різних знаках $X'(t)$ та $X''(t)$.

На основі вказаних правил пропонується модель характеру руху ЧР, що базується на оцінці нижчих похідних:

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

де $TS(t)$ – значення індикатора, \max – ознака досягнення локального максимуму, \min – ознака досягнення локального мінімуму, $flat$ – ознака невизначеності щодо екстремумів у момент t .

На основі розробленої моделі можна побудувати ряди, що відповідатимуть значенням першої та другої похідним ряду. Графічне представлення побудови моделі розробленого індикатора показано на рисунку 1.

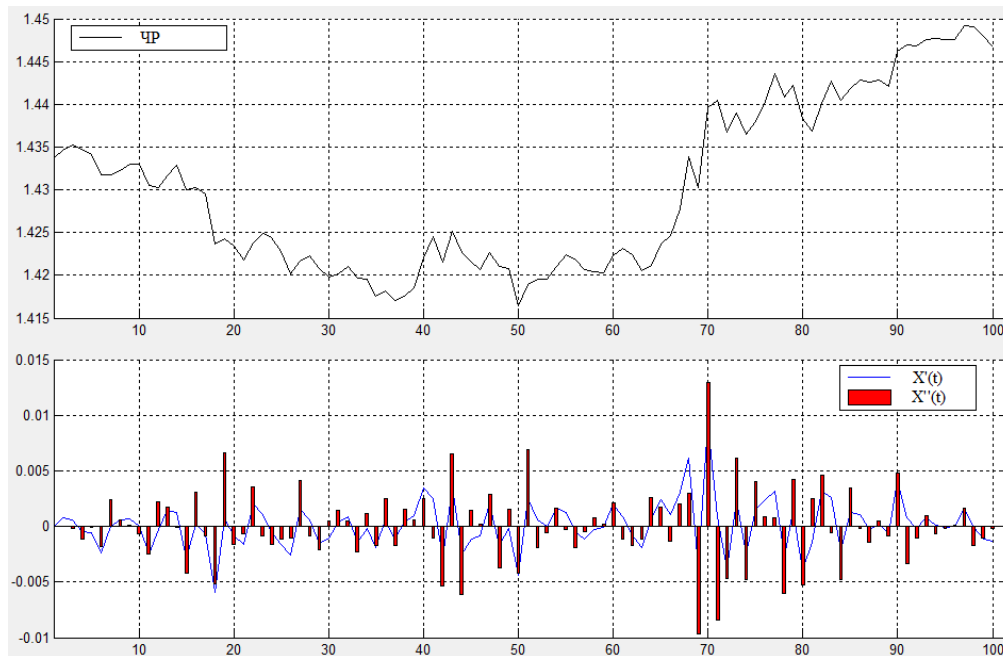


Рис. 1. Значення індикатора нижніх похідних ЧР

Розроблена модель для прогнозування фінансових ЧР має ще одну властивість. Для прийняття рішення важливим є кількісне порівняння зміни першої похідної за один та за декілька десятків останніх періодів. Абсолютний приріст дозволяє оцінити величина періоду. У знаменнику формул (1) та (2) враховується час. Величину періоду можна оцінювати в хвилинах. Усі більші періоди кратні хвилині, а наступний період кратний попередньому. Тому для кожного із періодів можна визначити середню швидкість та порівняти із миттєвою. Це вкаже на абсолютну інтенсивність зміни швидкості чи прискорення.

2. Побудова моделі індикатора визначення тенденції руху ЧР

Існують відомі індикатори для визначення тенденції руху ЧР. Вони базуються на визначенні ковзних середніх ряду із різними періодами та порівнянні їх значень [7, 8]. Для визначення простої ковзної середньої ряду (Simple Moving Average) використовується формула (4).

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

де $X(t)$ – значення часового ряду в останній період, $X(t-k \cdot T)$ – значення ЧР k періодів назад, k – порядок середнього.

Під порядком середнього розуміють кількість членів ряду, що використовуються для знаходження середнього. За схожими формулами розраховуються інші ковзні (згладжена, лінійно-зважена, експоненційна).

Для удосконалення моделі визначення тенденції руху ЧР скористаємось рисунком 2, на якому зображено дві ковзні середні із періодами 5 (штрихова – швидка середня) та 14 (суцільна – повільна середня).

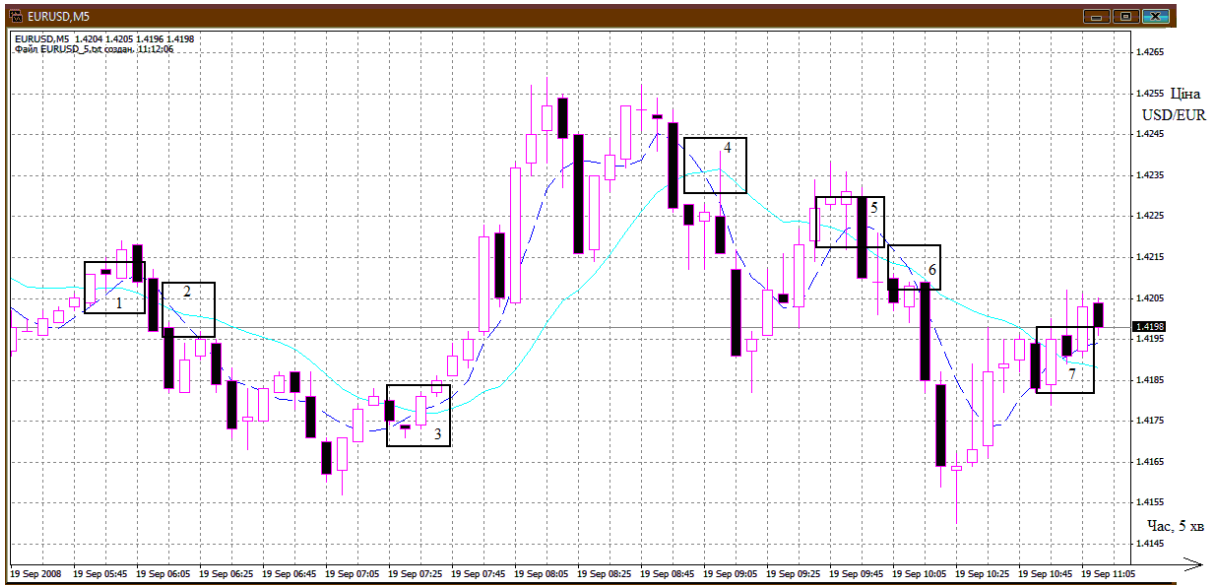


Рис. 2. Застосування ковзних до оцінювання ЧР

Для оцінювання тенденції руху ЧР необхідно скористатись різницею швидкої та повільної ковзних:

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

де $FastSMA(i)$ – швидка ковзна середня, $SlowSMA(i)$ – повільна ковзна середня.

Коли різниця змінює знак із від'ємного на додатний – це локальний мінімум (моменти для купівлі – № 1, 3, 5, 7). Зміна знаку із додатного на від'ємний – ознака локального максимуму (момент для продажу – № 2, 4, 6).

На основі проведеного аналізу можна сформулювати модель правил, для визначення тенденцій руху ряду:

- 1) коли швидка ковзна середня більша за повільну – ряд зростає;
- 2) коли швидка ковзна середня менша за повільну – ряд зменшується;
- 3) у випадку рівності швидкої та повільної ковзних – настає перехідний момент.

Модель оцінювання тенденції руху ЧР представлена формулою (6).

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

де $trend$ – показник моделі індикатора в останній період, $up, down$ – ознака зростання та падіння ЧР, $fastMA$ – швидкий індикатор руху ЧР, $slowMA$ – повільний індикатор руху ЧР.

Для якісної побудови індикаторів слід скористатись цифровою фільтрацією, яка зменшить вплив шумів та циклів із великою частотою на показники швидкого та повільного індикаторів.

Значення цифрового індикатора, що розраховується з допомогою цифрового фільтра визначаються:

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

де X – вхідний часовий ряд, Y – вихідний ЧР індикатора, a_i і b_i – набір вагових коефіцієнтів фільтра.

Параметри a_i та b_i визначаються з передатної функції фільтра:

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

Для побудови передатної функції слід задати три параметри фільтра, як це видно із АЧХ, зображеної на рисунку 3:

1. Порядок фільтра.
2. Пульсація в смузі пропускання – формула 9 (нормована).

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

3. Частота зрізу – формула 10 (нормована).

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

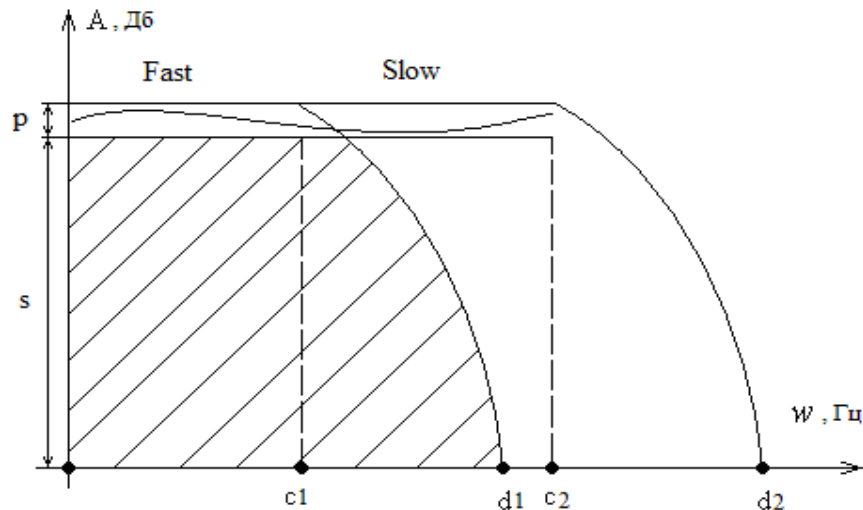


Рис. 3. АЧХ фільтрів для побудови швидкого та повільного індикаторів

Вибір параметрів фільтрів є достатньо формалізованою процедурою, але їхні постійні значення не задовольняють умову постійної зміни поведінки досліджуваних рядів. Тому необхідно розробити алгоритм оптимізації параметрів побудови фільтра для швидкого індикатора.

3. Оптимізація параметрів фільтра низьких частот

Оптимізації підлягають два параметри ФНЧ – це нормовані частота зрізу та пульсація в смузі пропускання [9]. Основна ідея оптимізація полягає у фіксуванні параметрів одного з двох фільтрів, що використовуються для побудови відповідних індикаторів. Для варіювання обрано параметри фільтра швидкого індикатора, оскільки при цьому встановлюватимуться обмеження на мінімальну частоту пропускання. Параметри фільтра оптимізують шляхом повного перебору із заданим кроком 0.01. При цьому формуватиметься тривимірна функція, аргументами якої будуть оптимізовані параметри. Величини пульсації та частоти зрізу, при яких система прийняття рішень покаже найвищу ефективність, і будуть вважатися

оптимальними.

Структура алгоритму оптимізації показана на рисунку 4. Після проведення оптимізації функція цілі має вигляд, який зображено на рисунку 5.

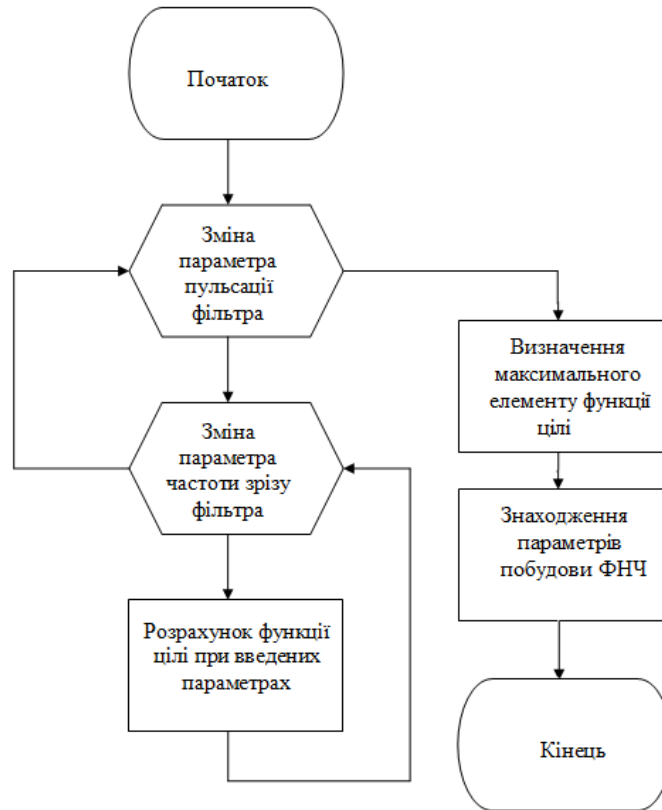


Рис. 4. Алгоритм оптимізації параметрів ФНЧ

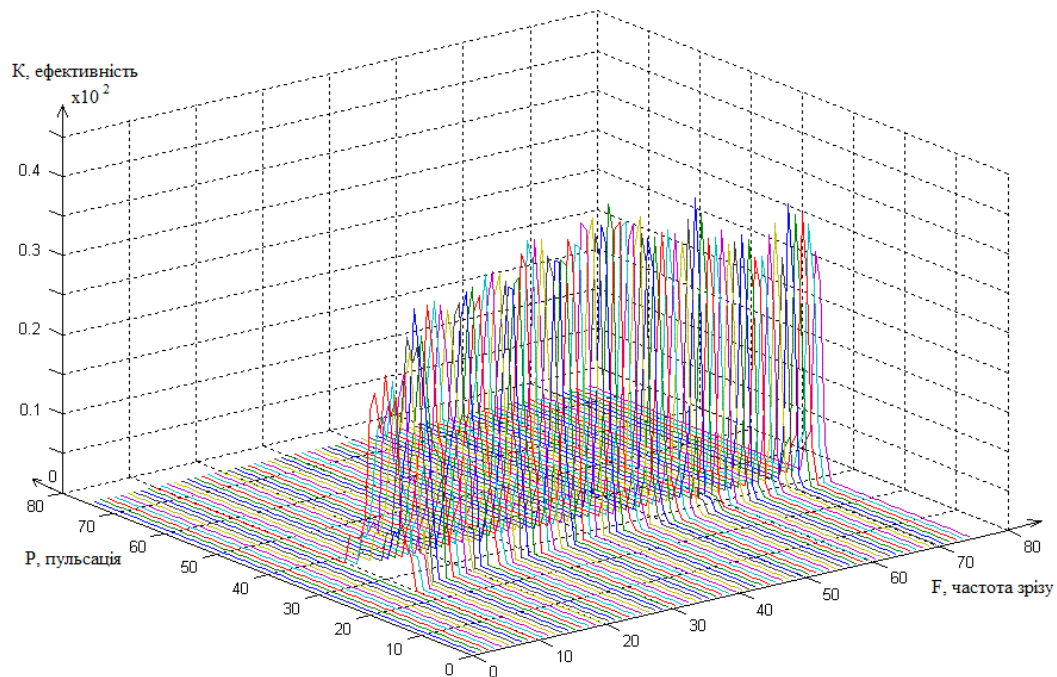


Рис. 5. Функція цілі після проведення оптимізації

Максимальний елемент функції цілі відображає ті параметри цифрового фільтра, при яких поведінка часового ряду прогнозується найкраще. Після розрахунку нових параметрів ФНЧ

слід розрахувати його коефіцієнти та побудувати відповідний індикатор.

Для проведення оптимізації слід визначити параметр, за яким вона здійснюватиметься.

4. Визначення критерію ефективності прийняття рішень

Для визначення критерію ефективності скористаємось формулою коефіцієнту корисної дії будь-якої системи чи процесу:

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

У формулі (11) величина N_1 характеризує отриманий вигравш від прогнозування часового ряду. Величина N_2 характеризує загальне зростання ФЧР [10, 11].

Формування обох величин N_1 і N_2 проходить за подібними правилами. Різниця полягатиме лише в тому, що N_1 відображатиме реальний вигравш, отриманий від роботи системи прийняття рішень, а N_2 – вигравш від гіпотетично можливих правильних прогнозів протягом обраного проміжку часу [3].

Сукупність прийнятих рішень визначить величину N_1 :

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

де b_i – величина ряду на початок прогнозу, s_i – величина ряду на кінець прогнозу, n – кількість прогнозів.

Щоб визначити загальний рух ЧР за обраний проміжок часу слід визначити величину N_2 :

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

де c_i – ціна в кінці кожного дискретного періоду, o_i – ціна на початку періоду, k – загальна кількість періодів обраного проміжку часу для прогнозування.

Загальний критерій ефективності прийняття рішень матиме такий вигляд:

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

Максимального значення критерій ефективності може досягти за умови точних прогнозів протягом усього досліджуваного часу. Від'ємне значення вказуватиме на перевагу неправильних прогнозів. Чим більшого значення досягне критерій при дотриманні вказівок обраної стратегії, тим вища ефективність стратегії [7, 10].

5. Побудова моделі системи прийняття рішень

Беручи до уваги розроблені методи оцінки ЧР через величину індикатора визначення тенденцій руху, індикатора нижніх похідних, можна сформуувати модель системи прийняття рішень. Рішення щодо знаходження локального максимуму можна приймати за такого співвідношення показників:

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

Усі індикатори описані вище. За такого співвідношення система приймає рішення чи рекомендацію про падіння ЧР.

Визначення локального мінімуму пов'язане з такими показниками:

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

За такого співвідношення система приймає рішення про падіння ЧР.

Останні 6 можливих ситуацій, що не ввійшли в співвідношення (15) та (16), не будуть сигналами системі до прийняття нових рішень. Значення індикаторів моделі в цьому разі мають бути такими:

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

При цьому не слід формувати рекомендації про рух ЧР у будь-якому напрямку [9].

Алгоритм моделі прийняття рішень зображено на рисунку 6.

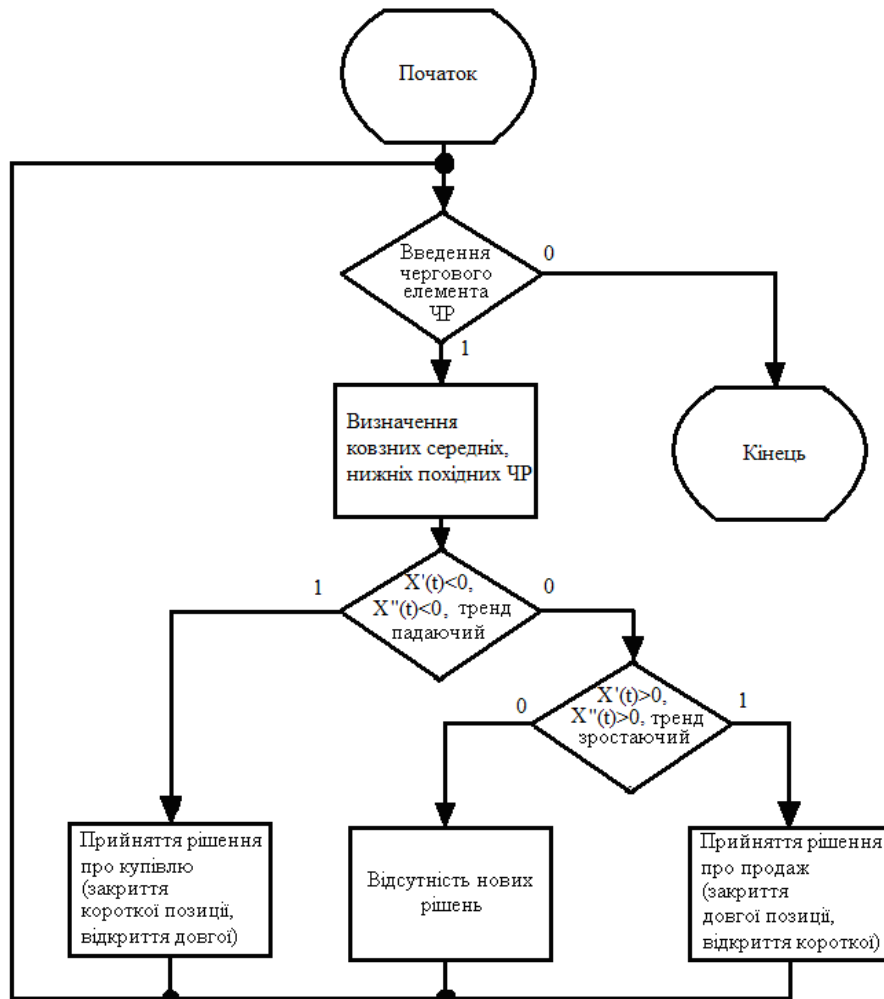


Рис. 6. Алгоритм прийняття рішень

Розроблена модель реалізована за допомогою індикатора в середовищі інженерних розрахунків MATLAB. Для побудови швидкого індикатора руху ЧР параметри фільтра становили: пульсація $P = 0.34$, а частота зрізу $F = 0.15$. Ефективність системи при цьому склала 12.88%. Після проведення оптимізації параметри фільтра визначились як: $P = 0.3$ для пульсації і частота зрізу $F = 0.42$. Ефективність при цьому склала 34.12%.

Графічна інтерпретація роботи моделі прийняття рішень зображена на рисунку 7.

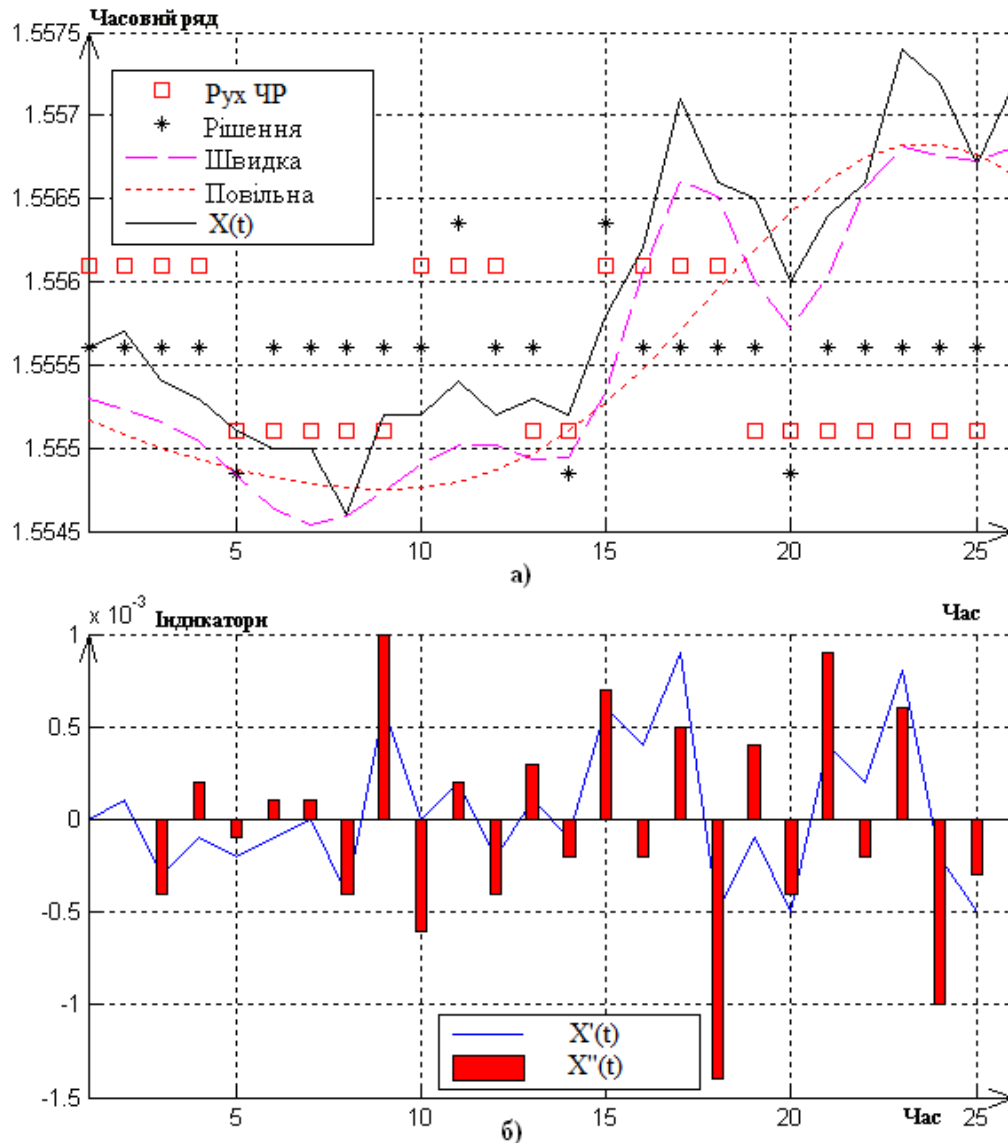


Рис. 7. Ілюстрація роботи індикатора

На частині а) зображено значення ціни закриття (« $X(t)$ », суцільною лінією) на п'ятихвилинному графіку (загалом відображено 25 періодів). Індикатор напрямку руху ряду позначений квадратами й будується по лініям «Швидка» та «Повільна». Періоди, коли тренд спадає, відображені квадратами нижче середньої лінії, коли зростає – вище. На частині б) рисунку 7 зображені швидкість (суцільна ламана) та прискорення (діаграма стовпцями) часового ряду. Після періоду № 5, коли напрямок руху ряду вказує на падіння тренда, а похідні – від'ємні, індикатор спрацьовує і вказує на мінімум – купівля за низькою

ціною (1,5551). Потім, при протилежному значенні руху ЧР та позитивних індикаторах швидкості та прискорення, рекомендується продавати за високою ціною (локальний максимум 1,5554). При цьому довга позиція закрилась (відбулась спочатку купівля, потім – продаж). Прибуток склав три пункти за 30 хвилин астрономічного часу. Після періоду № 11 відкривається коротка позиція (продаж), а після періоду № 14 ця позиція закривається із прибутком у 2 пункти. При підключенні індикатора до торгової платформи, система працюватиме автоматично. Слід також зазначити, що індикатор показував позитивні результати роботи на всіх без винятку періодах. Запропонований індикатор не потребує аналізу графіків менших періодів, оскільки обробка інформації і рішення приймаються після формування значення поточного періоду.

Висновки

Удосконалено модель цифрового індикатора ЧР на цифрових фільтрах. Для цього проаналізовано можливість застосування фільтрів нижніх частот із різними смугами пропускання. Важливим моментом при цьому є взаємне співвідношення ЧР, отриманих за допомогою різних фільтрів.

Розроблено модель цифрового індикатора ЧР на основі визначення нижчих похідних, що дозволяє оцінювати інтенсивність руху та визначати екстремуми ряду, підвищуючи ефективність прийняття рішень на часових рядах.

Розроблено модель прийняття рішень на часових рядах, що використовує комбінацію двох індикаторів. Один із них визначає тенденцію руху ряду, а інший вказує на наближення екстремуму. Розроблена модель, на відміну від існуючих, враховує поведінку часового ряду в реальному часі, що дозволяє знайти налаштування параметрів моделі, щоб підвищити ефективність прогнозування ряду.

Запропоновано критерій ефективності прийняття рішень на фінансових часових рядах, що дозволило оцінити якість роботи системи прийняття рішень на основі побудованих індикаторів. Розроблений критерій ефективності прийняття рішень дає можливість порівнювати результати роботи різних стратегій, а також однієї й тієї ж, але із різними параметрами.

Серед можливих напрямків подальшого розвитку цієї роботи можна виділити:

1. Удосконалення моделі експертної системи для прийняття рішень шляхом збільшення кількості показників, що аналізуються, та підвищення точності визначення моменту локальних мінімуму (максимуму).

2. Розробка нових моделей цифрових індикаторів, що визначали б ризики прийняття рішень і врахування цих рішень під час роботи експертної системи.

3. Підвищення ефективності алгоритмів оптимізації параметрів цифрових фільтрів для побудови індикаторів, завдяки визначенню оптимальних співвідношень параметрів фільтрів при побудові ковзних середніх та аналізу спектру сигналу часового ряду.

4. Дослідження показників індикаторів та наказів системи прийняття рішень під час прийняття збиткових рішень і формулювання обмежень використання розробленої моделі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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: ВДТУ, 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 Анатолій Степанович – к. т. н., професор, директор інституту АЕКСУ ВНТУ, кафедра автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки ВНТУ, +380-432-438-660, u@inaeksu.vstu.vinnica.ua.

Васильєв Ігор Вікторович – аспірант кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки ВНТУ, +380-679-959-485, vasylieviv@gmail.com.
Вінницький національний технічний університет.