

Є. І. Бакай¹
В. В. Кабачій¹
Р. В. Маслій¹

МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ФІНАНСОВИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ ПАРИ СЕРЕДНІХ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЦІНКИ РІЗНИХ ЧАСОВИХ ВИМІРІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Проведено аналіз підходів для прийняття рішень на фінансових часових рядах, зокрема на основі використання ковзних середніх. Проведена формалізація власного підходу з використанням оцінки різних часових вимірів та створені відповідні моделі. Наведено результати роботи розробленої експертної системи, яка реалізована в програмно-аналітичному комплексі MetaTrader 4.

Ключові слова: математична модель, технічний аналіз, прогнозування, аналіз часових рядів, фінансовий ціновий ряд, ковзні середні, система підтримки прийняття рішень.

Вступ

Аналіз часових рядів був і є актуальним у будь-якій сфері, але в останній час аналіз часових рядів набув особливо бурхливого використання у фінансовій сфері, а саме — біржовій торгівлі. Важливим для прийняття рішень на фінансових часових рядах є вміння прогнозувати їх поведінку.

Складність процесу прогнозування пов'язана з необхідністю аналізу і оцінювання великих обсягів даних, ускладненням методів, появою концептуально нових підходів до прогнозування процесів різної природи. Тому на сьогодні стан розвитку методів прогнозування тісно пов'язаний з розвитком інформаційних технологій. Інформаційні системи прогнозування, що відображають цей зв'язок в рамках економетрики [1], фінансової математики [2], статистики [3], використовуються в широкому спектрі прикладних галузей науки, а також у сферах виробництва, фінансового планування в економіці і торгівлі [4]. Сьогодні вони є невід'ємними складовими процесів управління складними системами і системами прийняття управлінських рішень, застосовуються аналітиками для оцінювання ризиків фінансового інвестування тощо.

Основними складовими системи прогнозування часових рядів є база з ретроспективними даними, яка безперервно поповнюється, комплекс прогнозних моделей, а також методів оцінювання їх якості, що згруповані залежно від постановки задачі прогнозування. Функціонування такої системи здійснюється в діалоговому режимі з особою, яка приймає рішення.

Якість будь-якої інформаційної системи прогнозування визначається ефективним управлінням процесом прогнозування. Під процесом прогнозування розуміється аналіз і оцінювання, на основі визначених наукових підходів, тенденцій розвитку певного процесу або явища, використовуючи наявну інформацію про перебіг цього процесу або явища в минулому, тобто ретроспективні дані. Використання ефективних інформаційних систем прогнозування часових рядів є актуальною задачею як для теорії, так і для практики в різних галузях. Зокрема в галузі фінансових ринків необхідність їх застосування можна пояснити зменшенням ризиків при інвестуванні.

Аналіз проблеми

Часовий ряд є впорядкованою в часі послідовністю значень деякої довільної змінної величини. Одним з типових представників часового ряду є фінансовий ціновий ряд (рис. 1), де ціна певного інструменту (валюти, акції, товару) залежить від часу. На відміну від більшості задач прогнозування рядів, у фінансових цінових рядах мета аналізу може полягати в тому, щоб у певні моменти часу t (рис. 1) прийняти рішення про зростання чи спадання цінового ряду в майбутньому, тим самим за правильного прогнозу отримати прибуток за рахунок різниці ціни інструменту.

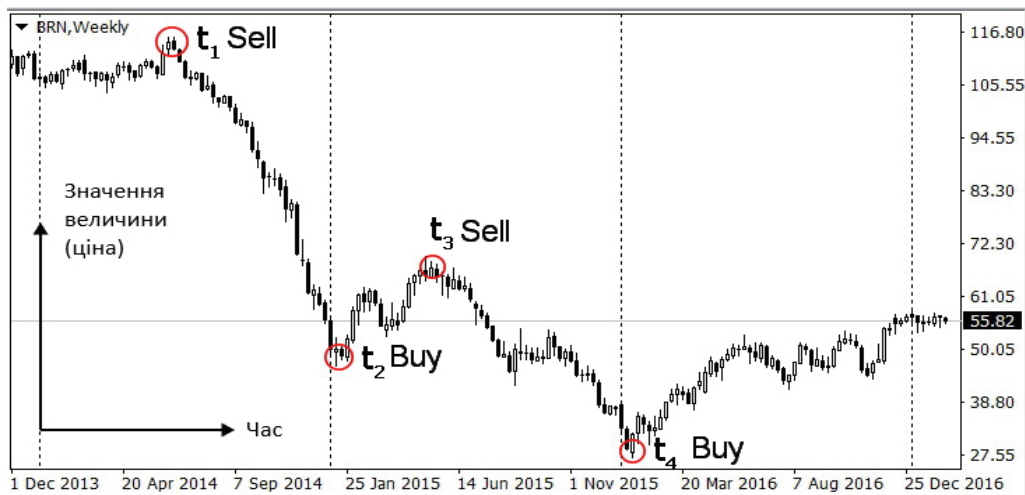


Рис. 1. Приклад фінансового цінового ряду: ціна нафти за 2014—2017 рік

Метод аналізу часового ряду визначається, з одного боку, цілями аналізу, а з іншого боку, ймовірною природою формування його значень. Найпоширенішими методами аналізу часових рядів, які можна розділити на три широкі класи є [5]:

1. Аналіз на основі суджень, тобто, прогнозування, що ґрунтується на суб'єктивних судженнях (оцінках), інтуїції, поглиблених знаннях конкретної області та іншій інформації, що має відношення до прогнозованого процесу — так зване передбачення.

2. Методи аналізу на основі використання часового ряду однієї змінної, тобто, на основі авторегресії, авторегресії з ковзним середнім та авторегресії з ковзним середнім плюс модель тренду, спектральний та кореляційний аналіз.

3. Методи прогнозування на основі використання часових рядів декількох змінних.

У загальному випадку вони можуть бути поєднані. Поширеним саме для фінансових часових рядів є так званий технічний аналіз [6]. Він полягає в дослідженні цінової динаміки ринку за допомогою аналізу закономірностей зміни трьох ринкових чинників: ціни, об'єму і у випадку, якщо вивчається ринок термінових контрактів — відкритого інтересу (об'єму відкритих позицій). Причому, первинними для аналізу вважаються ціни, а зміни решти чинників вивчаються для підтвердження правильності напрямку руху цінового ряду, як додаткові виміри, які є похідними від нього.

Відкидаючи деякі цілком позитивні методи, прихильники технічного аналізу найчастіше використовують один із найзагальніших та найпоширеніших методів — метод руху середніх, який можна визначити та застосувати по-різному [7]. Ковзні середні згладжують коливання цінового графіка шляхом усереднення за певним історичним періодом. За методом усереднення розрізняють просте (SMA), експоненціальне (EMA), та лінійно-зважене (LWMA) ковзне середнє [8]. На рис. 2 показані ковзні середні однакового періоду (за один вимір часу) з різним методом усереднення.

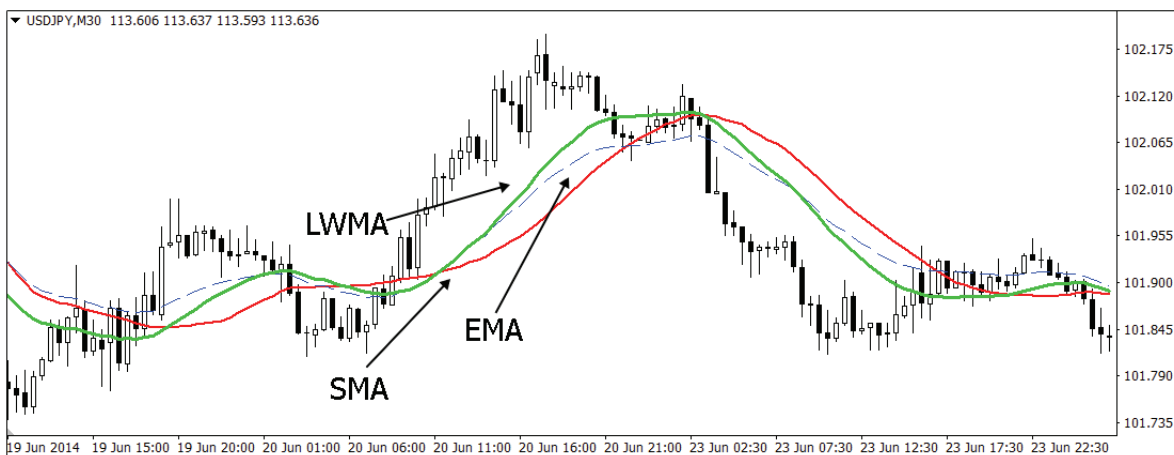


Рис. 2. Застосування ковзних середніх для цінового часового ряду, USD/JPY, 2014.06.19 — 2014.06.24

Simple Moving Average (SMA) — прості ковзні середні, середнє арифметичне цін закриття (відкриття) за певне число «одичних періодів» (година, доба, тиждень)

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

де P_i — ціна закриття періоду інструменту; n — часовий період (одичний період) розрахунку ковзної середньої.

Exponential Moving Average (EMA) — експоненціальні ковзні середні мають перевагу в тому, що вони включають всі ціни попереднього періоду, а не лише відрізок, заданий під час установки періоду. При цьому пізнішим значенням надаються більші ваги — використовується припущення про те, що максимальний вплив на майбутнє має теперішній момент, а минуле спадає «за експонентою».

$$EMA_t = \alpha P_t + (1 - \alpha) EMA_{t-1}, \quad (2)$$

де α — ваговий коефіцієнт в інтервалі від 0 до 1; P_t — значення ціни в період часу t ; $EMA_{(t-1)}$ — значення експоненціальної ковзної середньої в момент часу $t - 1$.

Linear Weighted Moving Average (LWMA) — зважені ковзні середні практично ті ж ковзні середні, тільки з однією лише відмінністю: кожний доданок входить зі своєю вагою (таким чином, можна задати найвпливовіші компоненти), а результат виходить діленням на суму ваг

$$LWMA = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (3)$$

де W_i — значення ваги для ціни i періодів назад.

Хоча існують сотні інших підходів і їх кількість постійно збільшується, перевага використання ковзних середніх полягає в тому, що за їхньою допомогою досить просто визначити напрям тренду (тенденція визначається тангенсом кута нахилу дотичної до ковзної середньої), а також на практиці їх часто використовують як підтримку і (або) опір. Проте існує й істотний недолік — це запізнювання сигналу. Для його нівелювання використовують прийняття рішень за використання одночасно декількох ковзних середніх, наприклад, їх перетину.

В так званому методі «золотого хреста» (рис. 3) — береться перетин ковзних з різними періодами усереднення: періодом 50 (MA50) та періодом 200 (MA200). В момент часу t_1 , коли MA50 перетинає MA200, приймається рішення про зростання цінового ряду, в момент t_2 , коли MA50 перетинає MA200, — про спадання. Якщо здійснити відкриття позиції (купівлю активу) за ціною в момент часу t_1 , а закрити її (продати актив) за ціною в момент часу t_2 , то, як впливає з рис. 3, утвориться прибуток, тобто прийняте рішення (прогноз) буде вважатися вдалим. В цьому випадку закриття позиції відбувається за зворотним сигналом (перетином), але й можна здійснювати вихід за заздалегідь встановленого рівня прибутку (Take Profit) в разі, якщо ціновий ряд буде рухатись в прогнозованому напрямі, або рівня збитку (Stop Loss), в разі, коли ціновий ряд рухатиметься у зворотному від прогнозу напрямі.

Деякі інші підходи, сильні сторони яких взяті за основу власного підходу, такі як «мертвий хрест», система трьох екранів Елдера, Рубікон детально розглянуті в [9, 10].



Рис. 3. Комбінація «золотий хрест» EUR/USD, D1, 2009.03.01 — 2010.11.01

Метою статті є формалізація зазначеного в [9] власного підходу і розробка на його основі моделі прийняття рішень на фінансових цінових рядах, для реалізації експертної системи — спеці-

альної комп'ютерної програми, яка відстежує цінові ряди, і згідно з закладеними алгоритмами, радить користувачеві здійснювати в певні моменти відкриття позицій купівлі або продажу активів (інструментів) чи сама здійснює або купівлю, або продаж в автоматичному режимі. Використання подібної експертної системи покликано покращити ефективність роботи на фінансових ринках, та звести до мінімуму вплив людського фактору під час прийняття рішень в реальному часі.

Створення моделі до запропонованого підходу

За основу власного методу взято використання аналізу на різних часових вимірах (стратегія трьох екранів Елдера), тобто визначення напрямку руху ряду і подальшої роботи у визначеному напрямі. В запропонованому підході для аналізу використовуються два часових виміри (екрани). Для прийняття рішення про відкриття позиції сигнали на них мають збігатися.

З точки зору технічного аналізу, більший часовий вимір (H4), який поданий у вигляді чотиригодинних графіків японських свічок [11], відіграє роль фільтрувального елемента (визначає тренд руху — напрям зростання або спадання цінового ряду) для сигналів з меншого часового виміру (M15), який поданий у вигляді 15-хвилинних графіків японських свічок. Японська свічка містить інформацію про чотири значення ціни інструмента за певний період: ціна початку періоду, ціна кінця завершення періоду, максимальне та мінімальне значення цін за період [11].

Оскільки запізнювання ковзних середніх породжує помилкові сигнали, ковзні середні ефективно працюють на трендовому ряді, коли ряд стрімко зростає або спадає, і неефективно на безтрендовому ряді. Тому для покращення результатів входи на екрані M15, що визначаються перетином двох середніх, відбуваються лише в напрямку тренда, який визначається на екрані H4 також за двома середніми. Суть фільтрації полягає в тому, що якщо надходить сигнал на вхід на екрані M15 в зворотному напрямку до екрану H4, то він ігнорується (рис. 4).

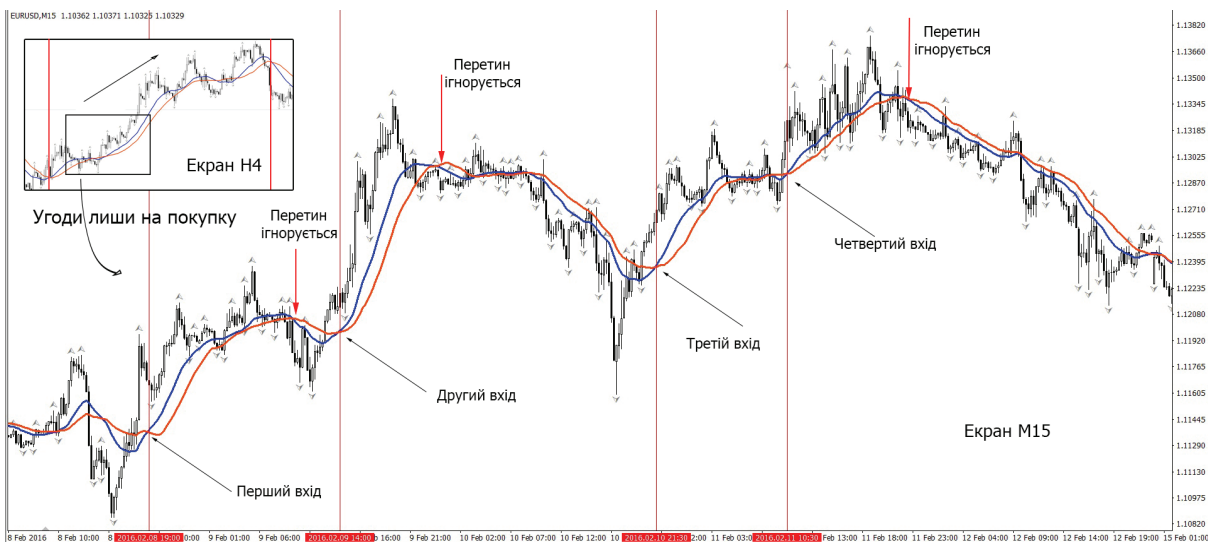


Рис. 4. Визначення безпосередніх входів на покупку в напрямку тренду, EUR/USD, M15, 2016.02.08 — 2016.02.12

Види середніх, їх період, а також початкові налаштування підібрані на основі практичного досвіду та статистики роботи групи трейдерів (експертів). Вони й будуть використанні для створення базових моделей для відкриття позицій.

Рішення щодо входів приймається на M15 шляхом ідентифікації перетинів двох ковзних середніх. Сигналом відкриття довгої позиції (купівлі) є перетин ковзних середніх: лінійно-зважена ковзна середня перетинає просту ковзну середню знизу вверх.

$$smaM15(1) < lwmaM15(1) \cup smaM15(2) > lwmaM15(2), \quad (4)$$

де $smaM15()$ — значення простої ковзної середньої на M15; $lwmaM15()$ — значення лінійно-зваженої ковзної середньої на M15.

Сигналом відкриття короткої позиції (продажу) є перетин простої ковзної середньої лінійно-зваженою ковзною середньою зверху вниз.

$$smaM15(1) > lwmaM15(1) \cup smaM15(2) < lwmaM15(2). \quad (5)$$

Модель фільтрації на основному екрані H4 включає аналіз руху двох ковзних середніх: лінійно-зваженої та простої. Ряд зростає, коли лінійно-зважена ковзна середня знаходиться вище простої ковзної середньої і проста ковзна середня направлена не вниз та лінійно-зважена ковзна середня направлена вгору (6), або коли лінійно-зважена ковзна середня знаходиться нижче простої ковзної середньої, і обидві направлені в гору (7).

$$[lwmaH4(0) > smaH4(0)] \cup \left[smaH4(2) - smaH4(1) \leq 0 \cup \frac{lwmaH4(2) - lwmaH4(1)}{Point} < 0 \right], \quad (6)$$

де $lwmaH4()$ — значення ковзної середньої на екрані H4; $smaH4()$ — значення простої ковзної середньої на екрані H4;

$$[lwmaH4(0) < smaH4(0)] \cup \left[\frac{lwmaH4(1) - lwmaH4(2)}{Point} > 5 \cup \frac{smaH4(1) - smaH4(2)}{Point} > 5 \right], \quad (7)$$

де $Point$ — кількість знаків після коми по фінансовому інструменту, ряд якого використовується.

Ряд спадає коли лінійно-зважена ковзна середня знаходиться нижче простої ковзної середньої і проста ковзна направлена не вгору і лінійно-зважена ковзна середня направлена вниз (8), або коли лінійно-зважена ковзна середня знаходиться вище простої ковзної середньої, і обидві направлені вниз (9).

$$[lwmaH4(0) < smaH4(0)] \cup \left[smaH4(2) - smaH4(1) \geq 0 \cup \frac{lwmaH4(2) - lwmaH4(1)}{Point} > 0 \right]; \quad (8)$$

$$[lwmaH4(0) > smaH4(0)] \cup \left[\frac{lwmaH4(2) - lwmaH4(1)}{Point} > 5 \cup \frac{smaH4(2) - smaH4(1)}{Point} > 5 \right]. \quad (9)$$

Загальна модель відкриття довгої (Buy) та короткої позиції (Sell) складається із моделей двох екранів, M15 та H4.

$$Buy = \begin{cases} \text{if} \left([lwmaH4(0) > smaH4(0)] \cup \left[smaH4(2) - smaH4(1) \leq 0 \cup \frac{lwmaH4(2) - lwmaH4(1)}{Point} < 0 \right] \right) \cap \\ \cap [lwmaH4(0) < smaH4(0)] \cup \left[\frac{lwmaH4(1) - lwmaH4(2)}{Point} > 5 \cup \frac{smaH4(1) - smaH4(2)}{Point} > 5 \right] \text{if} \\ \text{if} (smaM15(1) < lwmaM15(1) \cup smaM15(2) > lwmaM15(2)); \end{cases} \quad (10)$$

$$Sell = \begin{cases} \text{if} \left([lwmaH4(0) < smaH4(0)] \cup \left[smaH4(2) - smaH4(1) \geq 0 \cup \frac{lwmaH4(2) - lwmaH4(1)}{Point} > 0 \right] \right) \cap \\ \cap [lwmaH4(0) > smaH4(0)] \cup \left[\frac{lwmaH4(2) - lwmaH4(1)}{Point} > 5 \cup \frac{smaH4(2) - smaH4(1)}{Point} > 5 \right] \text{if} \\ \text{if} (smaM15(1) > lwmaM15(1) \cup smaM15(2) < lwmaM15(2)). \end{cases} \quad (11)$$

Особливістю підходу є подвійний вхід в напрямку тренда, який здійснюється після ідентифікації відкриття позиції (10–11), з різними рівнями Take Profit: один менше другого. З досягненням рівня меншого Take Profit, Stop Loss другої позиції переводиться в беззбитковий рівень, на рівень її відкриття (рис. 5). Друга позиція, таким чином, після цього може бути закрита лише з нульовим результатом або з позитивним за Take Profit, чи надходженням зустрічного сигналу (10–11). Відкриття позиції з її подальшим закриттям реалізує одну угоду (відкриття—закриття), яка і визначає правильність чи хибність прийнятого рішення з відображенням певного позитивного чи від'ємного фінансового результату за ним. Такий підхід дозволяє зменшити ризики, значні послідовні втрати (просадки) в наслідок статистично хибних рішень, та дає можливість отримати більш плавну криву нарощування прибутку.

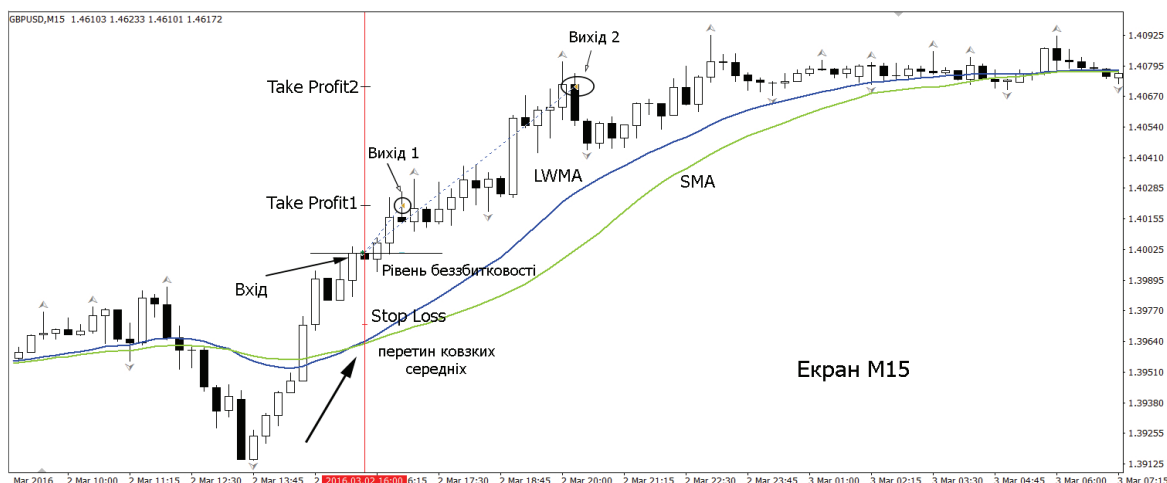


Рис. 5. Приклад відкриття пари ордерів

Результати моделювання

Розроблена модель реалізована в експертній системі [12, 13], для реалізації якої обрано програмно-аналітичний комплекс MetaTrader 4. Він дозволяє проводити всі необхідні дослідження за багатьма інструментами фінансових ринків, підтримує 9 часових періодів та забезпечує можливість проводити тестування розроблених систем на історичних даних, які можна завантажити з сервера історичних даних за будь-який час, та в реальному часі. Вбудована C-подібна мова програмування MQL4 дає безмежні можливості щодо створення експертних систем та візуального відображення підходів (індикаторів) та сервісних корисних скриптів.

Результати тестування в MetaTrader 4 для цінових рядів курсу валютних пар EUR/USD, GBP/USD, USD/JPY з 1 січня 2015 року до 1 січня 2017 року показані на рис. 6 та в таблиці.

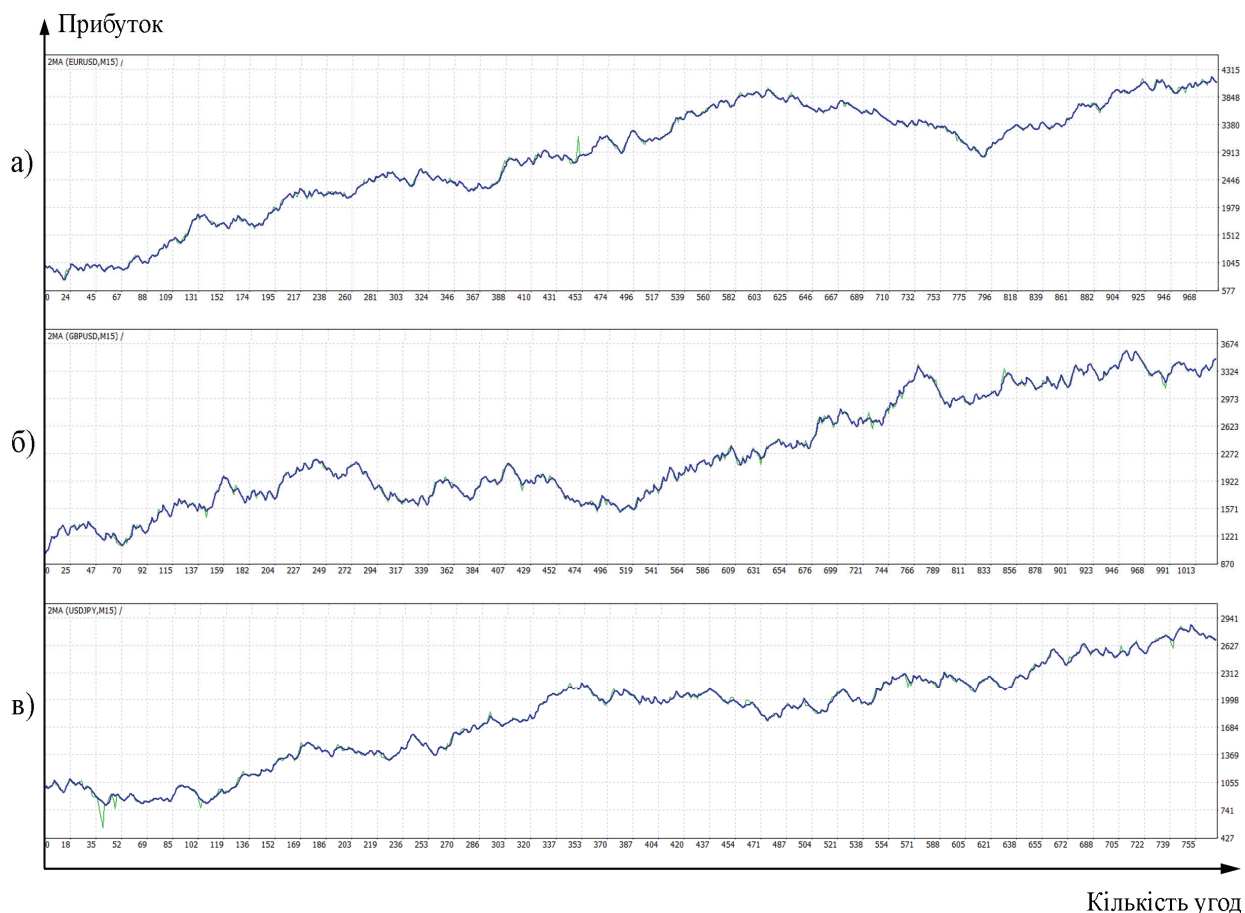


Рис. 6. Графіки динаміки прибутку по валютних парах:
а — EUR/USD; б — GBP/USD; в — USD/JPY за період 2015.01.01—2017.01.01

Система вважається працездатною, якщо процентне співвідношення прибуткових угод до збиткових більше 40 % за позитивного загального значення прибутків [14]. Як показники ефективності роботи системи були використані: Total net profit — процентне співвідношення прибутків/збитків до вкладених коштів, Profit factor — відношення загального прибутку до загального збитку, Relative drawdown — найбільший збиток відносно початкового капіталу, Total trades — загальна кількість угод, Profit trades (% of total) — кількість прибуткових угод, Loss trades (% of total) — кількість збиткових угод.

Результати тестування

	EUR/USD	GBP/USD	USD/JPY
Total net profit	309,4 %	248,4 %	169,4 %
Profit factor	1,34	1,23	1,28
Relative drawdown	29,88 %	30,84 %	27,38 %
Total trades	984	1030	768
Profit trades (% of total)	547 (55,59 %)	572 (55,53 %)	403 (52,47 %)
Loss trades (% of total)	437 (44,41 %)	458 (44,47 %)	365 (47,53 %)

Висновки

Розглянуто підходи до прийняття рішень (прогнозування) на часових рядах. Серед інших виділено підхід за використання ковзних середніх. На основі аналізу переваг відомих підходів запропоновано власний підхід, на основі якого розроблено моделі, що лягли в основу системи підтримки прийняття рішень.

Практично моделі реалізовані в експертній системі за допомогою середовища MetaTrader 4 та мови програмування MQL4. Тестування на історичних даних підтвердило ефективність запропонованого підходу.

В подальшому можливе поліпшення запропонованого підходу за рахунок розширення моделі прийняття рішень додатковими сигналами та фільтрами, а також оптимізації параметрів експертної системи, як для досліджуваних інструментів, так і для ширшого кола, а також виявлення специфічних залежностей та налаштувань для кожного з них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андерсон Т. В. Статистический анализ временных рядов / Т. В. Андерсон. — М. : Мир, 1976. — 756 с.
2. Медведев Г. А. Математические основы финансовой экономики : учебник / Г. А. Медведев. — Минск : БГУ, 2011. — 303 с.
3. Елисеєва И. И. Общая теория статистики : учебник / И. И. Елисеєва, М. М. Юзбашев ; под ред. И. И. Елисеєвой, — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 656 с.
4. Ефимова О. В. Финансовый анализ: современный инструментарий для принятия экономических решений / О. В. Ефимова — М. : Омега-Л, 2009. — 350 с.
5. Бідюк П. І. Часові ряди: моделювання та прогнозування / П. І. Бідюк, О. І. Савенко, І. В. Баклан. — К. : ЕКМО, 2004. — 114 с.
6. Сохацька О. М. Фундаментальний та технічний аналіз цін товарних та фінансових ринків / О. М. Сохацька, І. В. Роговська-Іщук, С. І. Вінницький. — К. : Кондор, 2012. — 305 с.
7. Лиховидов В. Н. Системы на основе скользящих средних / В. Н. Лиховидов // Валютный спекулянт. — 2004. — № 6. — С. 34—38.
8. Moving Average [Electronic resource] // Справка по MetaTrader 5. — Access mode: https://www.metatrader5.com/ru/terminal/help/indicators/trend_indicators/ma.
9. Бакай Є. І. Розробка системи підтримки прийняття рішень на основі пари середніх з використанням оцінки різних часових вимірів [Електронний ресурс] / Є. І. Бакай, В. В. Кабачій // Конференції ВНТУ : електронні наукові видання. — 2016. — Режим доступу до ресурсу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2016/paper/view/1120>.
10. Кветний Р. Н. Імовірнісні нейронні мережі в задачах ідентифікації часових рядів [Електронний ресурс] / Р. Н. Кветний, В. В. Кабачій, О. О. Чумаченко // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — 2010. — № 3. — 6 с. — Режим доступу до журн. : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-3/2010-3.htm>.
11. Нисон С. Японские свечи: графический анализ финансовых рынков ; пер. с англ. Т. А. Дозорова, М. А. Волкова / С. Нисон. — М. : Диаграмма, 1998. — 336 с.
12. Пардо Р. Разработка, тестирование, оптимизация торговых систем для биржевого трейдера / Роберт Пардо. — М. : Миннакс, 2002. — 224 с.
13. Кабачій В. В. Автоматична система керування прийняттям рішень на фінансових ринках / В. В. Кабачій, Р. Н. Кветний // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 6. — С. 138—143.
14. Мерфи Джон Дж. Технический анализ фьючерсных рынков: теория и практика. — М. : Диаграмма, 2011. — 616 с.

Рекомендована кафедрою автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.02.2017

Бакай Євгеній Іванович — студент факультету комп'ютерних систем та автоматики, e-mail: bakai.evgen@gmail.com ;

Кабачій Владислав Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, e-mail: vkabachiy@gmail.com ;

Маслій Роман Васильович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, e-mail: romas@ukr.net .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Ye. I. Bakai¹
V. V. Kabachii¹
R. V. Maslii¹

Decision-making Model on Financial Time Series Based on a Couple of Moving Averages Using the Assessment of Different Timeframes

¹Vinnitsia National Technical University

The analysis of decision-making approaches on financial time series including the use of moving average has been carried out. The formalization of the own assessment approach using different time dimensions has been performed and the appropriate models have been set. The results of the developed expert system, which is implemented in the software and analytical complex MetaTrader 4, have been given in the paper.

Keywords: mathematical model, technical analysis, forecasting, time series analysis, financial time series, moving average, decision support system.

Bakai Yevhenii I. — Student of the Department of Computer System and Automation, e-mail: evgenbakay@mail.ru ;

Kabachii Vladyslav V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Automation and Information-Measuring Equipment, e-mail: vkabachiy@gmail.com ;

Maslii Roman V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Automation and Information-Measuring Equipment, e-mail: romas@ukr.net

Е. И. Бакай¹
В. В. Кабачий¹
Р. В. Маслий¹

Модель принятия решений для финансовых временных рядов на основе пары средних с использованием оценки разных временных измерений

¹Вінницький національний технічний університет

Проведен анализ подходов для принятия решений на финансовых временных рядах, в частности на основе использования скользящих средних. Проведена формализация собственного подхода с использованием оценки различных временных измерений и созданы соответствующие модели. Приведены результаты работы разработанной экспертной системы, которая реализована в программно-аналитическом комплексе MetaTrader 4.

Ключевые слова: математическая модель, технический анализ, прогнозирование, анализ временных рядов, финансовый ценовой ряд, скользящие средние, система поддержки принятия решений.

Бакай Евгений Иванович — студент факультета компьютерных систем и автоматики, e-mail: bakai.evgen@gmail.com ;

Кабачий Владислав Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматики и информационно-измерительной техники, e-mail: vkabachiy@gmail.com ;

Маслий Роман Васильевич — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автоматики и информационно-измерительной техники, e-mail: romas@ukr.net