

4. Податковий кодекс: Проект, прийнятий Верховною Радою України [Електронний ресурс] // <http://www.minfin.gov.ua/control/publish/category>.

5. П(С)БО 25 „Фінансовий звіт суб'єкта малого підприємництва”: [прийнятий від 25 лютого 2000р., № 39] // Все про бухгалтерський облік. – 2001. – № 37. – С. 23-24.

6. План рахунків бухгалтерського обліку активів, капіталу, зобов'язань і господарських операцій суб'єктів малого підприємництва: прийнятий від 19 квітня 2001р., № 186 // Все про бухгалтерський облік. – 2002. – № 28. – С. 10-11.

Надійшла 02.06.2009

УДК 519.816+519.86

Т. О. САВЧУК, О. А. СТАШЕНКО  
Вінницький національний технічний університет

## АНАЛІЗ ФІНАНСОВИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕНТРОПІЇ

*Проаналізовано підходи до аналізу й прогнозування фінансових часових рядів на фондових ринках. Запропоновано альтернативний метод, що базується на застосуванні методу максимальної ентропії. В результаті досліджень були визначені екстремуми спектральної густини для різних часових періодів у вигляді графіків спектральної густини потужності валютного курсу EUR/USD. Як наслідок, зазначений метод може бути використаний при побудові торгових систем, які можуть бути застосовані для рішення проблеми виявлення точки зміни тренду з достатньою ймовірністю.*

*Approaches for analyzing and forecasting of financial time series on stock markets were analyzed. An alternative method which is based on the method of maximum entropy was proposed. As a result, extremes of spectral density were identified for different time periods in the form of graphs of power's spectral density for EUR / USD exchange rate. As a consequence, the strategy can be used in the construction of trading systems, which can be applied to solve the problem of detecting the change in trend with reasonable certainty.*

Традиційні підходи, що застосовуються для аналізу й прогнозування товарних та фінансових ринків з використанням методів математичної статистики, засновані на використанні класичних моделей типу «тренд + шум» або «авторегресія – середнє скользящее», призводять до задовільних результатів лише для рядів достатньо простої структури. Особливістю часових рядів, що відображують поведінку ринка, є їх характеристики (ціни, об'єми угод, індикатори та ін.), які формуються з декількох складових: випадкової, повільної – тренд, періодичної (або коливальної) складових, що описуються випадковим процесом певного типу.

Однією з основних задач, яку необхідно попередньо розв'язати при побудові торгового алгоритму, що є особливо важливим при проведенні операцій з купівлі/продажу валюти на фондовому ринку, і його адаптації до конкретного ринку, є оцінювання спектральної густини потужності (СПП) коливань ринкових цін.

Дане питання стало особливо актуальним в сучасних умовах світової фінансової кризи.

### Мета дослідження

Основна проблема аналізу й прогнозування валютного тренду зводиться до побудову торгової моделі, що адекватно відображає динаміку фінансових часових рядів. Ринковий механізм, що характеризується великою кількістю постійно мінливих зв'язків, залежить від множини зовнішніх факторів (показник ВВП, безробіття та ін.), здатних істотно вплинути на всю торгову модель. Поява тих або інших зовнішніх факторів, як правило, ніяк не відображається в передісторії фінансового часового ряду, але викликає значне порушення його динаміки. Для розв'язку задачі аналізу й прогнозування фінансових часових рядів з метою для виявлення циклічних закономірностей у валютному тренді застосовуються такі підходи, як аналіз Фур'є, регресійний аналіз та вейвлет-аналіз. Всі вони використовують розкладання вихідної функції в ряд за фіксованою системою базисних функцій, що породжує властивість строгої періодичності, яка не завжди відображає реальний стан речей, оскільки зазначені методи можуть бути застосовані лише до ненаправлених, періодичних даних.

Альтернативним підходом, який враховує зазначений недолік під час аналізу валютних трендів як направлених даних, є знаходження оцінки спектральної густини потужності коливання валютного курсу, обчисленого за допомогою методу максимальної ентропії, що може застосовуватися для направлених даних, в якості яких виступають валютні тренди.

### Розв'язування задачі

Головна ідея методу максимальної ентропії (ММЕ) [1] полягає у виборі такого спектру, який відповідає найбільш випадковому (найменш передбачуваному) часовому валютному ряду, кореляційна функція якого відображає можливий напрямок тренду і співпадає з заданою послідовністю оцінених величин (значенню потужності спектральної густини в певний момент часу). Ця умова еквівалентна прогнозуванню виду кореляційної функції шляхом максимізації ентропії. Саме тому аналіз спектральної

густини потужності коливання валютного курсу за ММЕ забезпечує значну роздільну здатність  $\Delta f$ .

Оцінка спектральної густини по методу МЕ має таку ж аналітичну формулу, як і оцінка СГП, яка отримується за допомогою авторегресійної моделі (АР-модель) порядку  $\rho$  зі вхідним білим шумом  $\varepsilon(n)$ .

Проведемо спектральний аналіз коливань курсу валютної пари EUR/USD для ринку FOREX за допомогою авторегресійної моделі вигляду [3]:

$$S_{AP}(e^{jw}) = \left| \frac{b_0}{1 + \alpha_1 e^{-jw} + \alpha_2 e^{-2jw} + \dots + \alpha_\rho e^{-j\rho w}} \right|^2, \quad (1)$$

де  $S_{AP}(e^{jw})$  - спектральна густина потужності валютного курсу;

$\alpha_\rho$  - параметри АР-моделі;

$w$  - середня потужність валютного курсу.

Знайдемо значення параметру  $\alpha_\rho$  з індексом від 1 до 22 авторегресійної моделі шляхом розв'язання рівняння Юла-Уокера [2], що в матричному вигляді можна подати як:

$$\begin{bmatrix} r_x(0) & r_x(-1) & \dots & r_x(-\rho) \\ r_x(1) & r_x(0) & \dots & r_x(-\rho+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_x(\rho) & r_x(\rho-1) & \dots & r_x(\rho) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_\rho \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |b_0|^2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $r_x(i-j)$  автокореляційний коефіцієнт, у якого  $1 \leq i \leq \rho+1, 1 \leq j \leq \rho+1$ .

Ці коефіцієнти служать елементами кореляційної матриці авторегресії  $\alpha_1$  розміром  $(\rho+1) \times (\rho+1)$ , а параметри АР-моделі формують  $(\rho+1)$ -мірний вектор  $\vec{\alpha}$ , у якого перша координата дорівнює 1, тобто:

$$\vec{\alpha} = [1, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\rho]. \quad (3)$$

В результаті розв'язання системи (2), виконаної за алгоритмом Левінсона-Дурбіна [3] було визначено порядок для валютного курсу EUR/USD порядок АР-моделі 150.

Ітераційна процедура Левінсона-Дурбіна [3] показала достатню сходимість валютного ряду, що підтверджує той факт, що коливання курсу EUR/USD є часовим рядом типу авторегресії і породжується рекурсивним співвідношенням:

$$\hat{x}(n) = b_0 \varepsilon(n) - \sum_{k=1}^{\rho} \alpha_k x(n-k), \quad (4)$$

де  $\hat{x}(n)$  - шуканий часовий ряд,  $\{\varepsilon(n)\}$  - нормований білий шум,  $b_0$  - нормований коефіцієнт, який обирається таким, щоб перша компонента вектора  $\vec{\alpha}$  виявилася рівною одиниці. Це означатиме, що для часового ряду коливання курсу EUR/USD можлива побудова фільтру прогнозування на один крок вперед.

Дійсно, можна оцінити значення  $\hat{x}(n)$ , використовуючи вираз (4) у вигляді:

$$\hat{x}(n) + \sum_{k=1}^{\rho} \alpha_k x(n-k) = b_0 \varepsilon(n), \quad (5)$$

де  $\rho$  відомих значень  $x(n-k)$ ;  $\alpha_k$  - параметри регресії;  $\varepsilon(n)$  - випадкова величина із генератора білого шуму;  $b_0$  - коефіцієнт, квадрат якого  $|b_0|^2$  можна розглядати як помилку прогнозування лінійного фільтру.

Оцінку спектральної густини потужності валютного курсу EUR/USD подамо у вигляді:

$$S_{AP}^* = \sqrt{S_{AP}(T)}, \quad (6)$$

де  $T$  - період коливань, який виражено в торгових днях.

В результаті досліджень, виконаних за допомогою торгової програми MetaTrader 4, були визначені екстремуми спектральної густини для різних часових періодів у вигляді графіків спектральної густини потужності валютного курсу EUR/USD в діапазоні періодів від 4 до 40 днів (рис. 1) та в діапазоні періодів від 20 до 160 днів (рис. 2). При цьому в якості незалежної змінної прийнято період коливань в торгових днях, а в якості залежної змінної в аналізі виступають умовні одиниці, розмірність яких визначається відношенням  $(EUR/USD)/\sqrt{Hz}$ , де Hz - частота коливань валютного курсу.

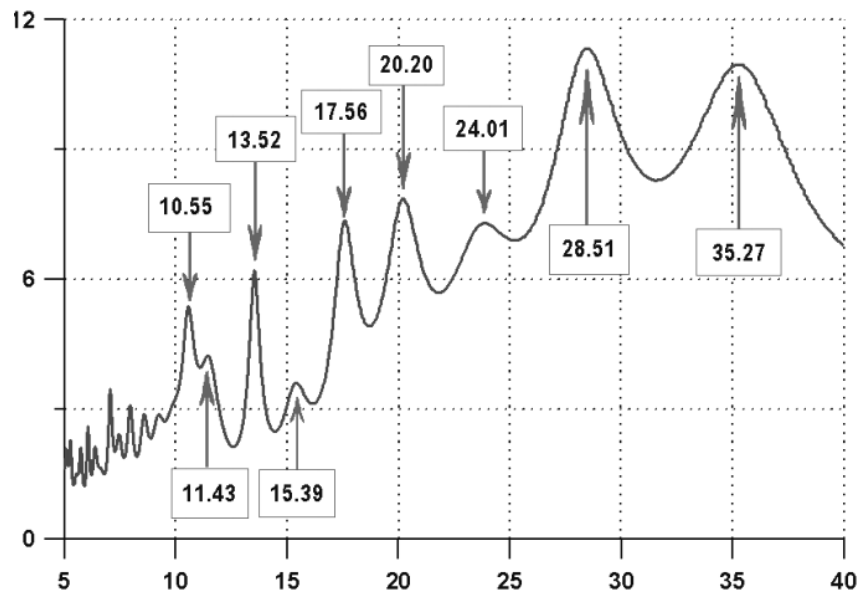


Рис. 1. Спектральна густина потужності валютного курсу EUR/USD, обчислена за методом максимальної ентропії в діапазоні періодів від 4 до 40 днів

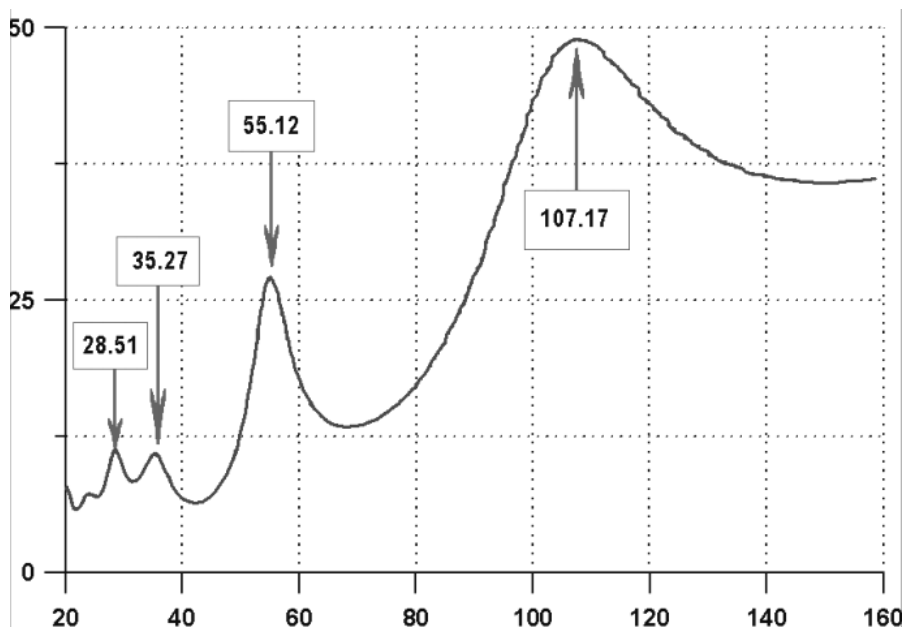


Рис. 2. Спектральна густина потужності валютного курсу EUR/USD, обчислена за методом максимальної ентропії в діапазоні періодів від 20 до 160 днів

Повний список спектральних екстремумів, виявлених при аналізі отриманих результатів досліджень у визначеному спектрі коливань валютного курсу EUR/USD, за його основними показниками, наведений у табл. 1.

Проведемо класифікацію виявлених спектральних компонент. З цієї метою виділимо гармоніки, які, за принципом варіації й номінальності теорії циклічності [4], повинні бути наявними на будь-яких фінансових і товарних ринках [2]. У відповідності з вимогами, що висувуються до гармонік [2], їх періоди мають бути близькими до 20 тижнів, або 40, 20, 10 і 5 днів. Ці вимоги виконуються для гармонік, які були виявлені в спектрі на рис. 1 й мають періоди 21.43 тижня, 20.2 днів, 10.55 днів і 5.04 днів. Однак 40-денний період ідентифікувати не вдалося. Найбільш близьким до нього виявився 35.27-денний період. Спектральний аналіз показав, що основним циклом на ринку EUR/USD є цикл із періодом 107.17 днів, або 21.43 тижня. Крім того, в спектрі EUR/USD знайдені торгові періоди, кратні основному циклу гармоніки та мають тривалість 55.12, 35.27, 24.01, 17.56 і 8.57 днів з коефіцієнтами кратності 2, 3, 6 і 12 відповідно. Появу непарних гармонік у спектрі можна пояснити нелінійністю тренда. Це означає, що необхідно додатково компенсувати вплив трендів або диференціювати цінові дані.

Запропонований підхід щодо спектрального аналізу тижневих біржових діаграм валютного курсу EUR/USD може бути використаний і для більш тривалих періодів (один рік, довгострокові цикли з періодом в два роки й більше), що вимагає розв'язання рівняння (1) для більшої кількості змінних.

**Класифікація спектральних екстремумів, виявлених у спектрі коливань курсу валютної пари  
EUR/USD**

№ циклу	Період, торгові дні	Період, тижні	Період, місяці	Амплітуда, умовні одиниці
1	107,17	21,43	5,36	48,98
2	55,12	11,02	2,76	27,18
3	35,27	7,05	1,76	10,97
4	28,51	5,70	1,43	11,33
5	24,01	4,80	1,20	7,25
6	20,20	4,04	1,01	7,86
7	17,56	3,51	0,87	7,35
8	15,39	3,08	0,76	3,61
9	13,52	2,70	0,66	6,20
10	11,43	2,29	0,57	4,23
11	10,56	2,11	0,53	5,37
12	9,22	1,84	-	2,88
13	8,57	1,71	-	2,89
14	7,94	1,59	-	3,09
15	7,45	1,49	-	2,42
16	7,04	1,41	-	3,45
17	6,36	1,27	-	2,13
18	6,04	1,21	-	2,59
19	5,71	1,14	-	2,12
20	5,53	1,11	-	1,51
21	5,26	1,05	-	2,28
22	4,04	1,01	-	2,08

Отже, аналіз спектральної густини валютного тренду може бути проведений за допомогою методу максимальної ентропії. Це дозволяє визначити екстремуми функції валютного тренду, що показують період зміни напрямку тренду.

#### Висновки

Таким чином, метод максимальної ентропії може бути використаний при побудові торгових систем, які можуть бути застосовані для рішення проблеми виявлення точки зміну тренду з достатньою ймовірністю.

#### Література

1. Кравчук В.К. Новый адаптивный метод следования за тенденцией и рыночными циклами // Валютный Спекулянт. – № 12, 2005, декабрь. – С. 50-55.
2. Джон Дж. Мерфи. Технический анализ фьючерсных рынков: теория и практика. М.: Сокол, 1996. – 588 с.
3. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений.– "Энергоатомиздат", 1985. – 428 с.
4. Солянкин А.А. Компьютеризация финансового анализа и прогнозирования. – М.: Финстатинформ, 1998.– 465 с.

Надійшла 02.05.2009