

**ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ФОНДОВОГО РИНКУ УКРАЇНИ З
ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ**

У статті визначено переваги методу вейвлет-розкладання сигналу для моделювання динаміки фондового ринку України. Здійснено прогнозування динаміки фондового ринку за допомогою вейвлет-аналізу.

The article outlines the advantages of wavelet decomposition method for modeling signal dynamics of the stock market of Ukraine. Predicted the stock market dynamics using wavelet analysis.

Ключові слова: фінансовий ринок, фондовий ринок України, вейвлет-аналіз, вейвлет Хаара, прогнозування.

Вступ

Фінансовий ринок представляє собою, як відомо, досить складний та багаторівневий механізм взаємодії суб'єктів, установ тощо. У зв'язку з цим, процес прогнозування динаміки його розвитку потребує використання широкого кола інструментів, що потребують постійного удосконалення. При цьому, підвищення адекватності зазначеного прогнозування є актуальним завданням, оскільки воно сприяє підвищенню ефективності функціонування інвесторів на фінансовому ринку, а також дає можливість своєчасно та доцільно регулювати функціонування фінансового ринку з боку держави. У зв'язку з цим, актуальними є науково-практичні розробки у галузі удосконалення методичного апарату дослідження, моделювання та прогнозування тенденцій розвитку фінансових ринків взагалі та українського зокрема. Дослідження наукових робіт з моделювання та прогнозування [5–11] виявили доцільність використання при прогнозуванні динаміки індикаторів фінансових ринків методів вейвлет-розкладання. Дана група методів відноситься до еконо-фізичних та характеризується здатністю до прогнозування процесів з нелінійною динамікою.

Метою даної роботи є прогнозування динаміки фондового ринку України за допомогою методів вейвлет-перетворення. Об'єктом дослідження виступає фондовий ринок України, предметом – методи вейвлет-перетворення сигналів.

Проблемам дослідження теорії вейвлетів присвятили свої праці такі вчені, як Добеши І., Дремін І.М., Іванов О.В., Нечитайло В.А., Астаф'єва Н. М. та інші [1–3]. Проблемам моделювання динаміки економічних індикаторів присвятили свої роботи такі вчені, як Гренджер К.В., Дікей Д.А., Фуллер В.А., Кроулі П., Ли Дж., Массет П. [7–13] та інші. При цьому, треба зазначити, що попри наявність значної кількості розробок у сфері моделювання динаміки фінансових ринків, методичний апарат даного моделювання досі потребує удосконалення. Відносно безпосередньо фінансового ринку України зазначається, що аналіз досліджень щодо структури фінансових ринків [4, 5] дозволяє розглядати його як сукупність наступних складових: кредитний ринок (ринок позикового капіталу), ринок цінних паперів (фондовий), валютний ринок та страховий ринок. Оскільки у даній статті прогнозування пропонується виконувати на прикладі фондового ринку, то на основі аналізу літературних джерел [4, 5] та статистичної інформації було виділено основний індикатор тенденцій фондового ринку України – фондовий індекс ПФТС. При цьому, варто зазначити, що для розкладання динаміки індикатора фондового ринку у попередніх дослідженнях за визначеними критеріями було запропоновано декілька вейвлет-функцій, однією з яких є вейвлет Хаара.

Математичний апарат дослідження

Вейвлет-перетворення сигналу будується на його розкладанні за базисом, що сформований з функції (вейвлета) шляхом масштабних змін та переносів. Кожна з функцій цього базису характеризує як визначену просторову (часову) частоту, так і її локалізацію у фізичному просторі (часі). Таким чином, вейвлет-перетворення забезпечує двовимірне представлення одновимірного сигналу, при цьому частота та координата розглядаються як незалежні змінні. Визначена особливість вейвлет-перетворення сигналів підкреслює можливість їх використання для числового моделювання як ієрархічний базис, який є пристосованим для описання динаміки складних нелінійних процесів, що характеризуються взаємодією обурень у широких діапазонах просторових та часових частот [1, с. 1145–1146].

Використання вейвлет-перетворення сигналу дозволяє провести декомпозицію сигналу $x(t)$, результатом якої є вираз, що відображає структуру «пірамідального алгоритму» розкладання сигналу [6, с. 18]:

$$x(t) = \sum_k s_{J,k} \psi_{J,k}(t) + \sum_k d_{J,k} \phi_{J,k}(t) + \sum_k d_{J-1,k} \phi_{J-1,k}(t) + \dots + \sum_k d_{1,k} \phi_{1,k}(t).$$

У попередніх дослідженнях було сформовано висновок, що доцільним є використання дискретного вейвлет-перетворення для моделювання тенденцій індикаторів фінансового ринку України.

У спрощеному варіанті дискретне вейвлет-перетворення сигналу представляє собою його «пропускання» через високочастотний та низькочастотний фільтр. Для вейвлету Хаара даний фільтр має наступний вигляд: $h = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$. Таким чином, розрахунок рядів апроксимуючих та деталізуючих складових динаміки індикатору формується для визначеного вейвлету на основі наступних виразів:

$$\begin{aligned} s_{j+1,t} &= 0.5(s_{j,t-2^j} + s_{j,t}), \\ d_{j+1,t} &= s_{j,t} - s_{j+1,t} \end{aligned}$$

де $s_{j,t}$ – елемент ряду апроксимуючих коефіцієнтів;
 $d_{j,t}$ – елемент ряду деталізуючих коефіцієнтів;
 j – рівень розкладання;
 t – номер періоду.

При цьому, у літературних джерелах [11] зазначається, що для прогнозування $N+1$ елементу вихідного ряду використовуються елементи $d_{j, N-2^j(k-1)}$ та $s_{j, N-2^j(k-1)}$ при позитивних значеннях k . Іншими словами, формування прогнозу базується на розрахунку параметрів наступної моделі:

$$\hat{X}_{N+1} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{A_j} \hat{a}_{j,k} d_{j, N-2^j(k-1)} + \sum_{k=1}^{A_{J+1}} \hat{a}_{J+1,k} s_{J, N-2^j(k-1)}$$

При цьому, регулюючи значення A_j має можливість обирати кількість елементів, що приймають участь у прогнозуванні значення вихідного ряду.

Розрахунок параметрів $\hat{a}_{j,k}$ зазначеної моделі пропонується виконувати на основі методу найменших квадратів. У такому разі вектор коефіцієнтів $\hat{a}_{j,k}$ розраховується виходячи з матричного рівняння:

$$\hat{A} = B^{-1} A^T S,$$

при цьому

$$\begin{aligned} A^T &= (L_{N-1}, \dots, L_{N-M}), \\ L^T_t &= (d_{1,t}, \dots, d_{1,t-2(A-1)}, \dots, d_{2,t}, \dots, d_{2,t-2^2(A-1)}, \dots, d_{J,t}, \dots, d_{J,t}, \dots, d_{J,t-2^j(A-1)}, \dots, s_{J,t}, \dots, s_{J,t-2^j(A-1)}), \\ \hat{A}^T &= (\hat{a}_{1,1}, \dots, \hat{a}_{1,A-1}, \hat{a}_{2,1}, \dots, \hat{a}_{a,A-1}, \dots, \hat{a}_{J,1}, \dots, \hat{a}_{J,A-1}, \dots, \hat{a}_{J+1,1}, \dots, \hat{a}_{J+1,A-1}), \\ S^T &= (X_N, \dots, X_{t+1}, \dots, X_{N-M+1}), \\ B &= AA^T \end{aligned}$$

Розрахунок вектору коефіцієнтів дозволяє здійснювати прогнозування динаміки вихідного сигналу, що пропонується виконати на основі вейвлет-розкладання індикатору фондового ринку України – індексу ПФТС.

Основна частина

Для здійснення поставленої у роботі мети було проведено вейвлет-розкладання динаміки індексу ПФТС за період з 01.2002 по 10.2009 [14] у помісячному розрізі на п'ять рівнів. Кількість коефіцієнтів із кожного з отриманих рядів апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів, що беруть участь у прогнозуванні динаміки вихідного ряду було прийнято на рівні двох ($A=3$). Таким чином, сформовано наступну залежність:

$$\begin{aligned} \hat{X}_{N+1} &= a_1 d_{1,N} - a_2 6d_{1,N-2} + a_3 d_{2,N} + a_4 d_{2,N-2^2} + a_5 d_{3,N} - a_6 d_{3,N-2^3} + \\ &+ a_7 d_{4,N} + a_8 d_{4,N-2^4} + a_9 d_{5,N} - a_{10} d_{5,N-2^5} + a_{11} 6s_{5,N} + a_{12} 9s_{5,N-2^5}, \end{aligned}$$

де a_i – параметри залежності;
 $d_{i,j}$ – визначені члени рядів деталізуючих коефіцієнтів;
 $s_{i,j}$ – визначені члени ряду апроксимуючих коефіцієнтів.

У ході проведення розрахунків було зроблено висновок, що використання вейвлет-перетворення сигналу є доцільним при короткостроковому прогнозуванні. У зв'язку з цим, було розраховано параметри наведеної вище залежності для кожного з прогнозованих значень індикатору фондового ринку України (табл. 1).

**Значення параметрів функції прогнозування динаміки індексу ПФТС з використанням
вейвлет-аналізу**

Період	Параметри											
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂
11.09	0,625	-0,075	-0,244	0,494	0,962	-0,023	1,627	2,252	1,105	-6,240	0,846	1,681
12.09	0,661	-0,030	-0,119	0,440	0,929	0,219	1,552	2,089	1,028	-6,768	0,874	1,928
01.10	0,665	0,003	-0,089	0,469	1,254	-0,062	1,578	1,989	1,549	-4,478	0,259	2,921
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03.11	1,209	0,174	0,151	0,204	1,256	0,029	1,208	0,71	1,082	-2,083	0,71	1,337

На основі розрахованих параметрів наведеної залежності було здійснено прогнозування динаміки індикатора фондового ринку України. Порівняння розрахованих значень з фактичною динамікою індикатора фондового ринку України наведено на рис. 1.

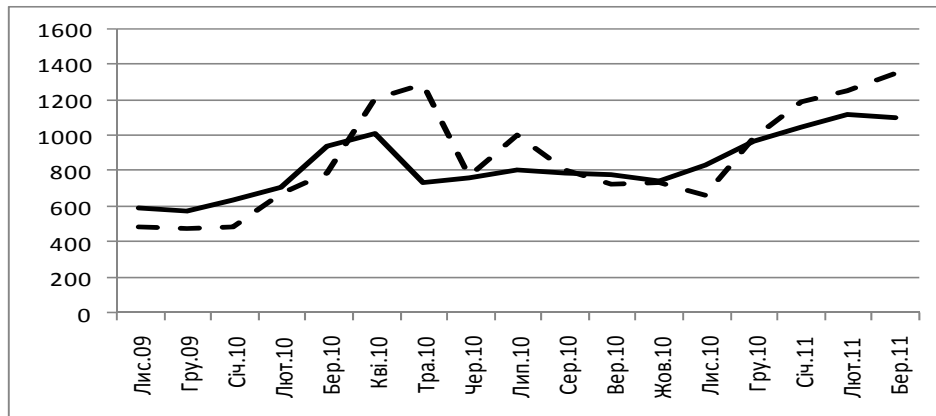


Рис. 1. Прогнозна та фактична динаміка індикатору фондового ринку України

На наведеному графіку пунктирною лінією виділена динаміка прогнозних значень індексу ПФТС. Середня процентна абсолютна помилка дорівнює 16 відсотків, що свідчить про досить високу якість прогнозу.

Висновки

На основі проведеного дослідження сформувано наступні висновки:

- використання методів вейвлет-розкладання сигналу дозволяє не тільки аналізувати специфіку змін височастотних та низькочастотних складових загальної динаміки економічних процесів, а й здійснювати її прогнозування на основі коефіцієнтів вейвлет-перетворення;

- короткострокове прогнозування динаміки індикатора фондового ринку України доцільно здійснювати шляхом використання вейвлету Хаара. Результати зазначеного прогнозування дозволяють відтворювати загальну динаміку розвитку даного сегменту фінансового ринку.

У якості подальших напрямлень для досліджень у даній сфері пропонується формування прогнозу на основі використання інших видів вейвлет-функцій.

Література

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145–1170.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / Добеши И. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
3. Дремин И. М. Вейвлеты и их использование / И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171, № 5. – С. 465–501.
4. Кидуэлл Д. С. Финансовые институты, рынки и деньги / Кидуэлл Д. С., Петерсон Р. Л., Блэкуэлл Д. У. – СПб. : Изд-во «Питер», 2000. – 752 с.
5. Стрижиченко К. А. Дослідження взаємодії складових фінансового ринку в період фінансової кризи / К. А. Стрижиченко, К. О. Дмитрусенко // Бізнес-Інформ. – 2010. – № 4(1). – С. 104–108.
6. Шитов А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Шитов А. Б. – Иваново, 2001. – 125 с.
7. Crowley P. M., Lee J. Deconposing the co-movement of the business cycle: a time-frequency analysis of growth cycles in the euro zone. – Macroeconomics, 2005. – 73 p.

8. Crowley P. An intuitive guide to wavelets for economists. Discussion Papers 1. – Bank of Finland Research, 2005. – 68 p.
9. Masset P. Analysis of Financial Time-Series using Fourier and Wavelet Methods [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ssrn.com/abstract=1289420>.
10. Tobin J. The Theory of Portfolio Selection. – London : Macmillan & Co., 1965.
11. Renaud O., Stark J.-L., Murtagh F. Prediction based on multiscale decomposition [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://lib.dnu.dp.ua:8001/1>.
12. Dickey D. A., Fuller W. A. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root // Journal of the American Statistical Association. –1979. – V. 74. – P. 427–431.
13. Granger C. W. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods / Econometrica. – 1969. – V.37. – P. 424 – 438.
14. ПФТС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://pfts.com>

Надійшла 10.04.2011