

6. Gertler, M. and N. Kiyotaki: "Banking, Liquidity and Bank Runs in an Infinite. - Horizon Economy." – 2013.
7. International Framework for Liquidity Risk Measurement, Standards and Monitoring. Bank for International Settlements. - 2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.bis.org](http://www.bis.org).
8. Банківська енциклопедія / Колективна монографія – К.: Центр наукових досліджень Національного банку України: Знання, 2011. – 504 с.
9. Takuji F. Bank Runs in emerging Economies and the Role of Interest Rate Shocks. - April 28, 2014.
10. Arifovic Jasmina and Jiang Janet Hua. Do Sunspots Matter? Evidence from an Experimental Study of Bank Runs. - Bank of Canada Working Paper 2014-12. March 2014.

УДК 330.101.52: 336.76

**Т.В. Кравець, О.І. Ляшенко**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИНАМІКИ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ФОНДОВИХ ІНДЕКСІВ МЕТОДАМИ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО ТА КОГЕРЕНТНОГО АНАЛІЗУ**

*У статті досліджуються ефекти синхронізації, що виникають при дослідженні динаміки європейських фондових індексів методами мультифрактального та когерентного аналізу з використанням вейвлет-технологій.*

**Ключові слова:** фондовий індекс, мультифрактальність, коефіцієнт Херста, когерентність, вейвлет-перетворення.

*В статье исследуются эффекты синхронизации, возникающие при исследовании динамики европейских фондовых индексов методами мультифрактального и когерентного анализа с использованием вейвлет-технологии.*

**Ключевые слова:** фондовый индекс, мультифрактальность, коэффициент Херста, когерентность, вейвлет-преобразование.

*The paper focuses on the examination of synchronization effects arising in multivariate analysis of dynamics of European stock indices by the coherent and multifractal analysis using wavelet technology.*

**Keywords:** stock index, multifractal analysis, Hurst coefficient, coherence, the wavelet transform.

**Актуальність.** Сучасні тенденції розвитку економіко-математичного моделювання характеризуються переходом від лінійних до нелінійних моделей. Нелінійні методи спрямовані на дослідженні складних систем і базуються на синергетичних засадах. Досить важливим питанням розгляду є аналіз кризових явищ у фінансових системах, динаміка яких має спільні риси. Фінансова нестабільність є загрозою для економічного розвитку. Внаслідок цього надзвичайно актуальним є дослідження фінансових рядів та розробка антикризових заходів спрямованих на попередження і мінімізацію наслідків можливих фінансово-економічних криз.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема аналізу та моделювання поведінки фондових та валютних ринків, валютних котирувань та біржових індексів знайшла своє відображення у роботах [1-8]. Проводилися дослідження окремих фінансових часових рядів методами фрактального аналізу з метою визначення їх персистентності на фіксованих часових проміжках та за допомогою рухомих часових вікон [1, 3, 6]. У роботах [3-5, 7, 8] пропонувались підходи з використанням неперервних і дискретних вейвлет перетворень, вейвлет когерентності [8, 9].

**Невирішені проблеми.** Складні синергетичні економічні системи потребують застосування комплексного підходу до дослідження їх поведінки на основі сучасних методів нелінійної динаміки.

**Мета статті** - вивчення ефектів синхронізації, що виникають при дослідженні динаміки європейських фондових індексів методами мультифрактального та когерентного аналізу з використанням вейвлет-технологій.

**Постановка завдання.** Провести мультифрактальний аналіз європейських фондових індексів та визначити ефекти синхронізації їх поведінки за допомогою міри вейвлет когерентності.

**Виклад основного матеріалу.** Одним з перспективних напрямків дослідження економічних процесів є аналіз фрактальних і мультифрактального властивостей часових фінансових рядів. Популярність фрактального аналізу заснована на його можливості досліджувати сигнали, які з точки зору спектральної теорії є білим шумом або броунівським рухом [1, 2, 4]. Це пов'язано зі здатністю фрактального аналізу досліджувати сигнали, які з точки зору коваріаційної та спектральної теорії є білим шумом чи броунівським рухом.

Для середнього значення квадрату приросту самоподібного процесу  $x(t)$  виконується

$$M\{|x(t + \delta \cdot t) - x(t)|^2\} \sim |\delta \cdot t|^{2H}, 0 < H < 1$$
 – стала Херста, а залежність спектра потужності від частоти носить степеневий характер  $S_{xx}(\omega) \sim \omega^{-(2H+1)}, \omega \rightarrow 0$ .

На сучасному етапі для оцінки спектрів сингулярності часового ряду активно використовується метод аналізу флуктуацій після виключення масштабно-залежних трендів (DFA) [1, 4].

Розглянемо обчислення спектра сингулярності  $F(\alpha)$ ,

який можна визначити як фрактальну розмірність множини точок, в околі яких показник Гельдера-Ліпшица для випадкових реалізацій процесу  $x(t)$  дорівнює  $\alpha$ , тобто таких точок  $t$ , для яких  $|x(t + \delta) - x(t)| \sim |\delta|^\alpha$ ,  $\delta \rightarrow 0$ .

Нехай  $\epsilon$  скінчена вибірка з часового ряду  $x(t)$ ,  $t = 1, \dots, N$ ,  $s$  – кількість відліків, що асоціюється зі змінним масштабом  $\delta_s$ :  $\delta_s = s\Delta t$ . Розіб'ємо вибірку на невеликі інтервали, що не перетинаються, довжиною у  $s$  відліків:

$$I_k^{(s)} = \{t : 1 + (k-1)s \leq t \leq ks, \quad k = 1, \dots, [N/s]\} \quad (1)$$

$$y_k^{(s)}(t) = x((k-1)s + t), \quad t = 1, \dots, s \quad (2)$$

де  $y_k^{(s)}(t)$  частина часового ряду  $x(t)$ , що відповідає інтервалу  $I_k^{(s)}$ . Нехай  $p_k^{(s,m)}(t)$  – поліном порядку  $m$ , який підігнали методом МНК до сигналу  $y_k^{(s)}(t)$ . Розглянемо відхилення від локального тренда:

$$\Delta y_k^{(s,m)}(t) = y_k^{(s)}(t) - p_k^{(s,m)}(t), \quad t = 1, \dots, s \quad (3)$$

Стандартний підхід складається з обчислення статистичної суми Гіббса:

$$W(q, s) = \sum_{k=1}^{[N/s]} \left( \max_{1 \leq t \leq s} \Delta y_k^{(s,m)}(t) - \min_{1 \leq t \leq s} \Delta y_k^{(s,m)}(t) \right)^q \quad (4)$$

та визначення показника маси  $\tau(q)$  з умови  $W(q, s) \sim s^{\tau(q)}$  після чого спектр  $F(\alpha)$  обчислюється згідно формулі:

$$F(\alpha) = \max_q \{ \min(\alpha q - \tau(q)), 0 \} \quad (5)$$

З вище наведених формул випливає, що  $\tau(q) = \rho(q) - 1 = qh(q) - 1$ . Таким чином,

$$F(\alpha) = \max_q \{ \min(q(\alpha - h(q)) + 1, 0 \} \quad (6)$$

Для монофрактального процесу, коли  $h(q) = H = \text{const}$ , маємо:

$$F(H)=1 \text{ і } F(\alpha)=0 \forall \alpha \neq H \quad (7)$$

В частковому випадку, положення і ширина носія спектра  $F(\alpha)$ , тобто значення  $\alpha_{\min}$ ,  $\alpha_{\max}$ ,  $\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min}$  і  $\alpha^*$  – значення, яке дає функції  $F(\alpha)$  максимум. Величину  $\alpha^*$  називають узагальненим показником Херста. Для монофрактального сигналу значення  $\Delta\alpha$  повинно дорівнювати нулю, а  $\alpha^* = H$ . Що стосується значення  $F(\alpha^*)$ , то воно дорівнює фрактальній розмірності точок, для околу яких виконується масштабуючи співвідношення  $M(\delta, q) \sim |\delta|^{\rho(q)}$ .

Якщо оцінювати спектр  $F(\alpha)$  в ковзному вікні, то його еволюція може дати інформацію про зміну структури хаотичних пульсацій ряду.

Вейвлетна міра когерентності аналогічна спектральній мірі, але базується на розкладі сигналів по ортогональній базисним функціям-вейвлетам. За даним методом будується оцінка масштабно-залежної міри когерентної поведінки часового ряду  $Z(t)$  у ковзному часовому вікні довжиною  $N$  відліків. Нехай число рядів, що аналізуються  $q \geq 3$ ,  $Z(t) = (Z_1(t), \dots, Z_q(t))^T$ , а  $\tau$  – положення правого кінця ковзного часового вікна довжиною  $N$  відліків для моментів часу, що задовольняють нерівність  $\tau - N + 1 \leq t \leq \tau$ . Для кожного положення часового вікна (що зміщується вправо на 1 відлік) аналіз здійснюється незалежно від аналізу в інших вікнах.

Позначимо через  $Q^{(\tau, \beta)}$  множину  $L_\beta(N) = 2^{-\beta} N$  значущих  $q$  – вимірних векторів  $z = (z_1, z_2, \dots, z_q)^T$  вейвлет-кофіцієнтів рівня детальності  $\beta$ , що потрапили у часове

вікно  $\tau$ . Поділимо вектори  $z$  на дві частини: скаляри  $z_1$  та вектори  $\xi = (z_2, \dots, z_q)^T$ . Квадрат канонічної кореляції  $v_1^2(\tau, \beta)$  першої компоненти часового ряду  $Z_1(t)$  з усіма іншими компонентами визначається як максимальне власне значення матриці

$$S_{\xi\xi}^{-1} S_{\xi z_1} S_{z_1 z_1}^{-1} S_{z_1 \xi},$$

де окремі множники є підматрицями загальної коваріаційної матриці  $S_{zz} = M(z \cdot z^T)$ .

Значення квадратів канонічних кореляцій кожної скалярної компоненти векторного часового ряду  $Z(t)$  з усіма іншими компонентами на рівні детальності  $\beta$  в часовому вікні  $\tau$  при  $k = 1, \dots, q$  дорівнюють:

$$v_k^2 = v_k^2(\tau, \beta) \quad (8)$$

Надалі добувають додатні квадратні корені з цих величин. Для зменшення статистичних флуктуацій оцінки канонічних кореляцій у зв'язку зі зменшенням кількості вейвлет-коефіцієнтів при зростанні номера рівня детальності введемо додаткове усереднення по деякому числу коефіцієнтів, отриманих на попередніх вікнах:

$$\bar{v}_k(\tau, \beta) = \sum_{s=1}^{m_\beta} v_k(\tau - s + 1, \beta) / m_\beta, \quad m_\beta = 2^\beta \quad (9)$$

Чим вище рівень детальності, тим сильніше усереднюються показники (9) по минулим часовим вікнам, що значно зменшує залежність амплітуди розкиду статистичних флуктуацій оцінки (9) від номера рівня детальності і робить розкид приблизно однаковим для різних  $\beta$ . Вейвлетна міра когерентності має вигляд:

$$\kappa(\tau, \beta) = \prod_{k=1}^q \bar{v}_k(\tau, \beta). \quad (10)$$

Значення міри (10) можуть лежати в межах від 0 до 1. Чим більше значення (10), тим сильніший сукупний зв'язок між усіма процесами, що аналізуються на масштабах, що відповідають номеру  $\beta$ .

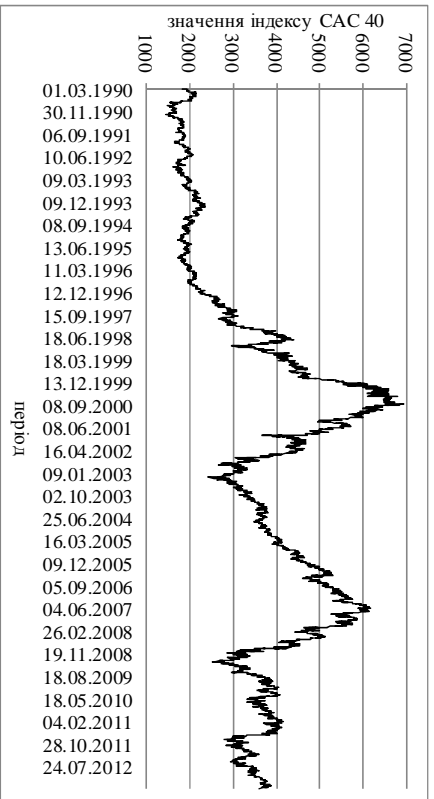
Проаналізувавши фінансові кризи кінця ХХ століття можна дійти висновку, що динаміка розгортання кризових має деякі спільні риси. Їх можна охарактеризувати універсальними механізмами утворення та розгортання нестійкості систем.

До досліджуваних європейських індексів відносяться: німецький індекс DAX 30, великобританський FTSE 100, французький CAC40. На рис. 1-3 відображено динаміку DAX 30 1990-2013 років (5627 відліків), FTSE 100 1993-2013 років (4979 відліків), CAC40 1990-2013 років (5829 відліків).



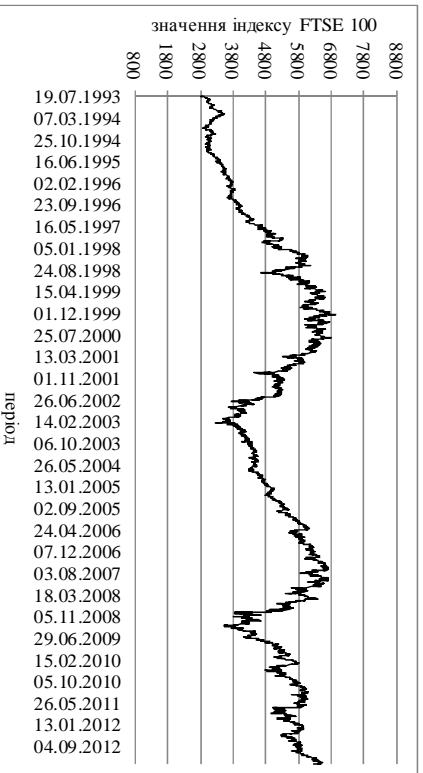
Джерело: складено авторами на основі [10]

Рис. 1. Динаміка німецького індексу DAX 30



Джерело: складено авторами на основі [10]

Рис. 1. Динаміка німецького індексу DAX 30.



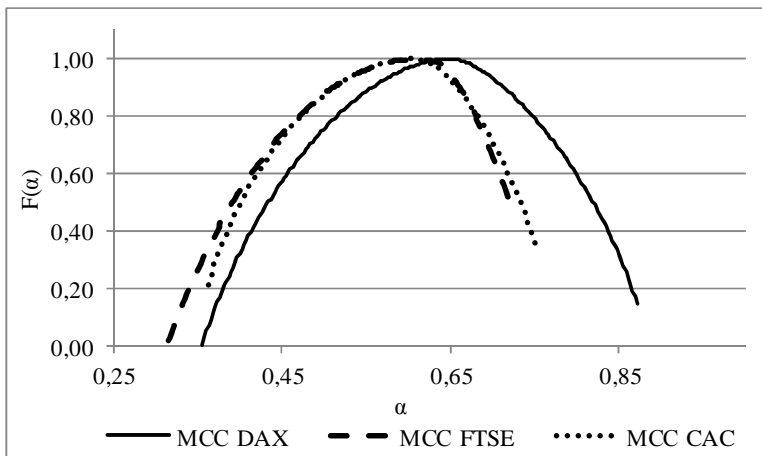
Джерело: складено авторами на основі [10]

Рис. 3. Динаміка фондового індексу FTSE 100.

На рис. 4 представлено мультифрактальні спектри сингулярностей дохідностей індексів DAX 30, CAC 40, FTSE 100. Порівняння значень узагальненого показника



Херста дозволяють дійти висновку, що в німецького індексу в більшій мірі присутній ефект довгої пам'яті.



Джерело: власні розрахунки авторів

Рис. 4. Мультифрактальні спектри дохідностей індексів DAX 30, CAC 40, FTSE 100.

Показники ширини спектра (рис.5-6) дають уявлення про ситуацію на фондовому ринку впродовж 1997-2013 року. У 2007 році під час іпотечної кризи США спостерігається досягнення мінімуму показника німецького та французького індексів.

Динаміка узагальненого показника Херста усіх індексів (рис.7-9) має хвилеподібний характер. Помітні викиди у період 2007-2010 років, що відповідає фінансово-економічній та борговій європейській кризам, протягом яких відбулося погіршення усіх макроекономічних показників.



*Джерело: власні розрахунки авторів*

Рис. 5. Динаміка ширини носія спектра індексу DAX 30



*Джерело: власні розрахунки авторів*

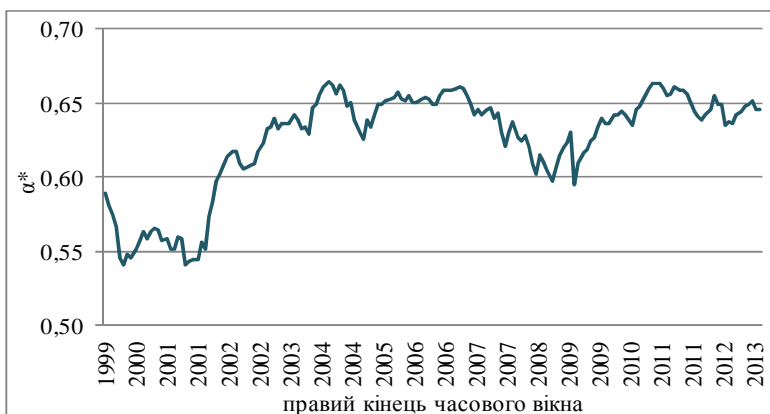
Рис. 6. Динаміка ширини носія спектра індексу CAC 40

Заходи, що запроваджувались керівництвами країн щодо стимулювання економік та запобігання поширенню фінансової кризи, не змогли втримати фондові ринки від падіння.



Джерело: власні розрахунки авторів

Рис. 7. Узагальнений показник Херста індексу DAX 30



Джерело: власні розрахунки авторів

Рис. 8. Узагальнений показник Херста індексу FTSE 100

Вплив негативної макроекономічної та корпоративної статистики визначав зниження у листопаді 2008 року світових фондових індексів в середньому на 7-8% .



*Джерело: власні розрахунки авторів*

Рис. 9. Узагальнений показник Херста індексу САС 40

Одним із важливих підходів у дослідженні фінансових даних є розрахунок вейвлетної міри когерентності досліджуваних часових рядів на основі оцінювання канонічних когерентностей в ковзному вікні.

Розглядалася група європейських індексів: DAX 30, САС 40, FTSE 100, WIG 20 та RTS. Довжина вікна дорівнювала 365 діб, обчислення проводилися на чотирьох рівнях детальності. Перший рівень детальності відповідає часовим масштабам варіацій від 2 до 4 діб, другий – від 4 до 8 діб, третій – від 8 до 16 діб, четвертий – від 16 до 32 діб. На рис.10-12 представлено динаміку вейвлетної міри когерентності досліджуваних індексів на відповідних рівнях детальності вейвлет-декомпозиції.

На рис. 10 помітне різке зростання показника у 2010 році, що узгоджується з європейською борговою кризою цього періоду. У першому кварталі 2008 року спостерігається збільшення міри у 10 разів, що є

попередженням небезпеки, яка вилилась у фінансову кризу.



Джерело: власні розрахунки авторів

Рис. 10. Вейвлетна міра когерентності 1 рівня детальності.

Щодо другого рівня детальності (рис.11) вейвлет-розкладу, то ситуація дещо інша. Прослідковується виразний характер зростання міри напередодні кризи 2008 року. Уже в кінці 2007 року міра когерентності стрімко зростає і у другому кварталі 2008 року набуває свого максимального значення. Ще один викид представлено на рис. 15 у кінці 2009 р., що є передвісником настання європейської кризи і сигналом щодо застосування ефективних антикризових заходів.

**Висновки.** Проаналізувавши фінансово-економічну кризу 2008-2009 років, без сумніву можна стверджувати, що усі розраховані показники були передвісниками небезпеки. Світова фінансова криза 2008-го року проявилася у вересні - жовтні 2008 року у формі різкого погіршення основних економічних показників у більшості розвинених країн.



*Джерело: власні розрахунки авторів*

Рис. 11. Вейвлетна міра когерентності 2 рівня детальності

На рис. 12 можна спостерігати певну варіаційність показника уже з початку 2007 року, динаміка є дещо схожою до ситуації на рис. 10.



*Джерело: власні розрахунки авторів*

Рис. 12. Вейвлетна міра когерентності 3 рівня детальності.

Криза набула світового характеру та спричинила різкий спад обсягів виробництва, споживчого попиту, цін на сировину та зростанням рівня безробіття. Це відобразилось на фондових індексах значним падінням їхніх значень.

Під час боргової європейської кризи, що розпочалась в 2010 році, значення мультифрактальних показників індексів Великобританії, Франції, Німеччини, різко змінювалися. Спостерігалось падіння узагальненого показника Херста та зменшення ширини носія спектра. Криза була спричинена збільшенням рівня державної заборгованості європейських країн, зростаючими дефіцитами державних бюджетів, втратою конкурентоспроможності ряду європейських країн та відсутністю гнучкості у валютно-кредитній політиці.

Динаміка вейвлетної міри когерентності усіх країн на трьох рівнях детальності представляє яскраву картину розгортання фінансово-економічної кризи 2008-2009рр. та європейської боргової кризи 2010-2013 рр. Спостерігається синхронізація поведінки дохідностей індексів напередодні криз, при цьому помітні характерні відмінності цих криз, локалізовані на різних частотах.

#### **Список використаних джерел**

1. Дербенцев В.Д., Сердюк О.А., Соловійов В.М., Шарапов О.Д. Синергетичні та еконофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем. Монографія. [Текст] / В.Д. Дербенцев, О.А. Сердюк, В.М. Соловійов. – Черкаси: Брама-Україна, 2010. – 287 с.
2. Алмазов А.А. Фрактальная теория. Как поменять взгляд на финансовые рынки / А.А. Алмазов. – М.: Admiral Markets, 2009. – 209 с.
3. Субботин А. Волатильность и корреляция фондовых индексов на множественных горизонтах [Текст] / А. Субботин, Е. Буянова // Управление риском, 2008. – № 47(3). – 51-59 с; № 47(4). – 23-40 с.

4. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга [Текст] / А.А. Любушин. – М.: Наука, 2007. – 228с.
5. Любушин А.А. Статистики временных фрагментов низкочастотных микросейсм: их тренды и синхронизация [Текст] / А.А. Любушин // Физика Земли, 2010. – № 6. – С. 86-96.
6. Піскун О. В. Використання методів нелінійного аналізу для моніторингу валютних ринків [Текст] / О.В. Піскун // Бізнес Інформ. – 2012. – №3. – С. 58–61.
7. Liashenko O. Multifractal analysis of currency and stock indices using wavelet technology [Текст] / O. Liashenko, T. Kravets // Economics (Ekonomika). – 2013. – Vol. 92(3), Supplement A. – P. 296-303.
8. Aguiar-Conraria L. The Continuous Wavelet Transform: A Primer [Текст] / L. Aguiar-Conraria, M. Soares // NIPE WP 16/ 2011. – P. 1-43.
9. Grinsted A. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series [Текст] / A. Grinsted, J. C. Moore, S. Jevrejeva // Nonlinear Processes in Geophysics. – 2004/ 11. – P. 561–566.
10. Інформаційний портал про особисті інвестиції та фінанси [Електронний ресурс] / Офіційний сайт. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.investfunds.ua>

УДК 330.341.1

**М.В. Макарова**

## **ВІРТУАЛЬНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЯК КОНЦЕПЦІЯ ШТЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЇЇ КОМУНІКАТИВНИЙ АСПЕКТ**

*У статті розглянуто історію розвитку концепції і технологій штучного інтелекту, приділено увагу концепції віртуальної організації як розвитку методології багатоагентних систем, досліджено її комунікативний аспект.*

**Ключові слова:** *технології і системи штучного інтелекту, віртуальна організація, багатоагентні*