

УДК 330.46:519.86

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСА ФРАКТАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Соловьев Владимир Николаевич,
профессор кафедры
экономической кибернетики
Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого,
контактный телефон: +380672647557,
Стратийчук Игорь Олегович,
аспирант кафедры
экономической кибернетики
Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого,
контактный телефон: +380671149177

Аннотация. В статье рассмотрена методика построения индекса фрактальности на основе мультимасштабной энтропии шаблонов для оценки эффективности сложных финансово-экономических систем, представлены результаты экспериментальной работы по ранжированию мировых банков по эффективности. Показано, что наиболее эффективными являются Barclays PLC и BNP Paribas, наименее - UniCredit S.p.A. и China Construction Bank Corporation.

Ключевые слова: сложные финансово-экономические системы, индекс фрактальности, эффективность.

ВИКОРИСТАННЯ ІНДЕКСУ ФРАКТАЛЬНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Соловйов Володимир Миколайович,
професор кафедри
економічної кібернетики
Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького,
контактний телефон: +380672647557,
Стратійчук Ігор Олегович,
аспірант кафедри
економічної кібернетики
Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького,
контактний телефон: +380671149177

Анотація. У статті розглянута методика побудови індексу фрактальності на основі мультимасштабної ентропії шаблонів для оцінки ефективності складних фінансово-економічних систем, представлені результати експериментальної роботи з ранжування світових банків за ефективністю. Показано, що найбільш ефективними є Barclays PLC та BNP Paribas, найменш - UniCredit S.p.A. і China Construction Bank Corporation.

Ключові слова: складні фінансово-економічні системи, індекс

фрактальності, ефективність.

EVALUATION OF COMPLEX FINANCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS EFFICIENCY BY USING INDEX OF FRACTALITY

Vladimir Soloviev,
professor of the department
“ Economic Cybernetics ”

Bohdan Khmelnytsky National University at Cherkassy,
contact phone number: +380672647557,

Igor Stratiychuk,
graduate of the department
“ Economic Cybernetics ”

Bohdan Khmelnytsky National University at Cherkassy,
contact phone number: +380671149177

Annotation. The method of calculation index of fractality based on multiscale sample entropy for evaluation of complex and economic efficiency, results of experimental work of world banks efficiency ranking were shown in this paper. Shown that the highest efficiency have Barclays PLC and BNP Paribas, lowest - UniCredit S.p.A. and China Construction Bank Corporation.

Keywords: complex financial and economic systems, index of fractality, efficiency.

Постановка проблеми. Теорія ефективних ринків, яка заснована на фундаменталізмі, виступила одним з рефлексивних факторів виникнення глобальних фінансових структур та зміни парадигми функціонування світової фінансово-економічної системи. Наявність дуальності в складних системах призвела до виникнення та поширення кризових явищ, подолання яких неможливо без нового підходу до розуміння топологічних особливостей складних систем.

Особливість складних систем, а саме фінансово-економічних, полягає у фрактальності динаміки їх поведінки. Такий підхід, на нашу думку, дозволить більш повно зрозуміти та описати поведінку суб'єктів в глобальних складних системах.

Основоположним питанням в сучасних ринкових відносинах виступає міра ефективності функціонування суб'єктів, для його вирішення необхідним є пошук та розробка алгоритмів оцінки цієї міри.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широко обговорюється питання актуальності використання та функціонування теорії ринкового фундаменталізму в наступних роботах [1-3]. В роботах [3, 4, 6] заперечується можливість єдиного підходу до функціонування світової фінансово-економічної системи як складної. Дж. Сорос пропонує відмовитись від ідеї раціональних очікувань споживачів та наявності випадкових подій у фінансовому секторі [5-6]. Серед недавніх досягнень слід звернути увагу на роботи [7-11], в яких основна увага приділяється розробці, адаптації та практичному застосуванню конкретних мір визначення ефективності функціонування суб'єктів фінансово-економічної системи.

Не зважаючи на значні здобутки сучасної наукової думки, питання оцінки ефективності та розуміння поведінки агентів в складних системах залишається відкритим.

Постановка завдання. На основі викладеного можна сформулювати завдання дослідження, яке полягає в розробці алгоритму розрахунку індексу фрактальності для оцінки ефективності функціонування складних фінансово-економічних систем та їх складових.

Виклад основного матеріалу дослідження. Наше дослідження базується на визначенні складної системи як такої, в якій міра ефективності функціонування залежить від рівня фрактальності її динаміки. Такий підхід передбачає можливість існування в таких системах високої кореляції поведінки учасників ринку на різних рівнях дискретизації або масштабах. Відповідно, якщо такої кореляції нема, то система визначається низькоефективною.

Для розрахунку індексу фрактальності використовуємо нормалізовані значення міри складності з першого по останній масштаб. Загалом даний показник має універсальний характер, оскільки може бути побудований на основі будь-якої міри. В даній роботі для розрахунків використовуємо мультимасштабну ентропію шаблонів.

Алгоритм побудови індексу фрактальності передбачає три етапи: розрахунок ентропії на обраних масштабах, нормалізацію отриманих результатів та калькулювання індексу як міри ефективності.

Вхідними даними для розрахунку ентропії шаблонів (SampEn) є часовий ряд, а також два параметри, m та r . Параметр m характеризує розмірність вкладень, а другий – r – є пороговим критерієм, який дозволяє вважати два довільні вектори однаковими ("фільтруючий чинник"). Досліджуються підпоследовності елементів часового ряду S_N , що складаються з m чисел, взятих, починаючи з номера i , і називаються векторами $p_m(i)$.

Для розглядуваної множини P_m всіх векторів довжини m часового ряду S_N можна обраховувати значення: $C_{im}(r) = \frac{n_{im}(r)}{N - m + 1}$, де $n_{im}(r)$ – кількість векторів у P_m , що подібні вектору $p_m(i)$ (враховуючи вибраний критерій подібності r). Значення $C_{im}(r)$ є часткою векторів довжини m , що мають схожість із вектором такої ж довжини, елементи якого починаються з номера i . Для даного часового ряду обраховуються значення $C_{im}(r)$ для кожного вектора у P_m , після чого знаходиться середнє значення $C_m(r)$, яке виражає розповсюдженість подібних векторів довжини m у ряду S_N . Безпосередньо ентропія подібності для часового ряду S_N з використанням векторів довжини m та критерію подібності r визначається за формулою: $SampEn(S_N, m, r) = \ln(C_m(r) / C_{m+1}(r))$, тобто, як натуральний логарифм відношення повторюваності векторів довжиною m до повторюваності векторів довжиною $m+1$.

Показник ентропії шаблонів функціонально залежить від одного кроку диференціювання, тобто відображає міру невизначеності чергового відліку, який ми прогнозуємо за попередньою історією процесу. Інакше кажучи, цей вид ентропії описує міру втрати інформації на кожному подальшому кроці щодо попереднього. З цієї причини такі параметри не можуть бути застосовні до аналізу явищ, що являються за своєю природою мультимасштабними.

Для подолання цих труднощів було запропоновано використовувати мультимасштабний аналіз ентропії (Multiscale Entropy Analysis –MSE), де у якості міри ентропії на різних масштабах декомпозиції початкового часового ряду використовувався параметр ентропії [12]. Метод MSE включає дві послідовно виконувані процедури: (1) процес "грубого дроблення" початкового часового ряду; (2) усереднення даних на сегментах, що не перетинаються.

Процес "грубого дроблення" ("грануляція") полягає в усередненні послідовних відліків ряду в межах вікон, що не перетинаються, а розмір яких τ – збільшується при переході від масштабу до масштабу (рис. 1). Кожен елемент "гранульованого" часового ряду $y_j^{(\tau)}$ знаходиться у відповідності до виразу:

$$y_j^\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{i=(j-1)\tau+1}^{j\tau} x_i, \quad 1 \leq j \leq N/\tau,$$

де τ характеризує масштабний фактор. Довжина кожного "гранульованого" ряду залежить від розміру вікна і рівна N/τ . Для масштабу рівного 1 «гранульований» ряд просто тотожний оригінальному. Для кожного з отриманих "гранульованих" часових рядів обчислювалася SamEn як функція масштабу.

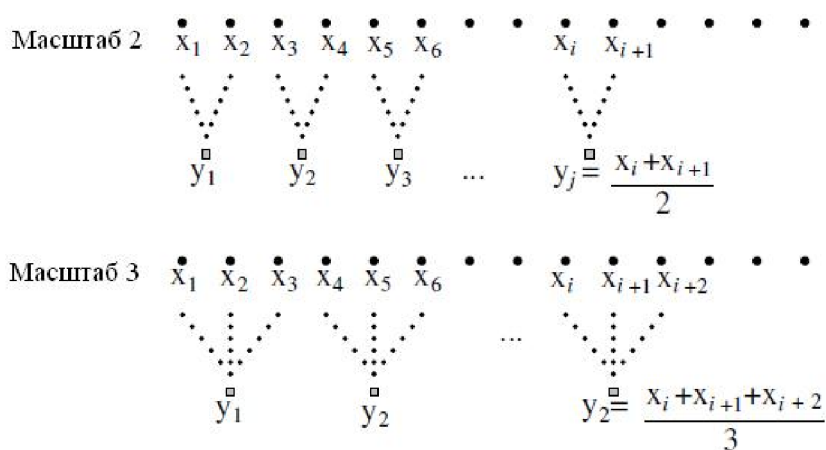


Рис. 1. Схематична ілюстрація процесу грубого дроблення ("грануляції") початкового часового ряду для масштабів 2 і 3

В рамках дослідження розраховуємо значення ентропії для масштабів з першого по п'ятий. На рисунку 2 заштрихована зона схематично відображає індекс фрактальності (IF), який чисельно дорівнює:

$$IF = \left| SC_1 - \frac{\sum_{i=1}^n SC_n}{n} \right|,$$

де SC_1 - значення ентропії шаблонів для першого масштабу, SC_n - значення ентропії для n-го масштабу.

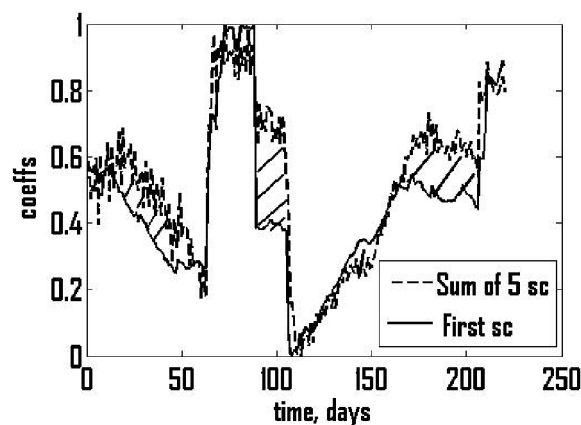


Рис. 2. Схематична ілюстрація ділянок (заштриховані) необхідних для розрахунку індексу фрактальності (штриховою лінією позначене середнє значення суми міри на 5 масштабах, суцільною – значення показника на першому масштабі, приведені після нормалізації)

При розрахунку використовуються нормалізовані величини, процедура нормалізації має наступний вигляд:

$$SC_{norm} = \frac{SC_n - SC_{min}}{SC_{max} - SC_{min}},$$

де SC_{norm} - нормалізоване значення міри для обраного масштабу, SC_{max} - максимальне значення міри для обраного масштабу, SC_{min} - мінімальне значення міри для обраного масштабу. В результаті такої процедури отримуємо нормалізовані значення в інтервалі від нуля до одиниці, що дозволяє спростити наступну процедуру розрахунку індексу фрактальності.

Важливо зазначити, що для розрахунку початкової міри складності можна використовувати стаціонарні та нестаціонарні ряди, результати використання таких рядів представлені на рисунку 3.

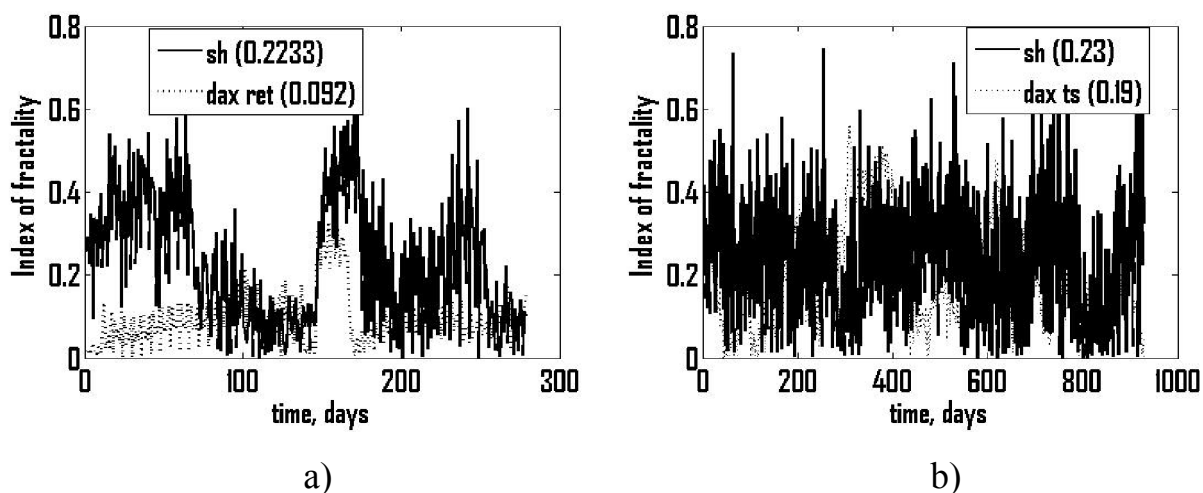


Рис. 3. Індекс фрактальності для а) стаціонарного часового ряду фондового індексу Німеччини (dax ret) та перемішаного ряду (sh), б) для нестаціонарного часового ряду (dax ts) та перемішаного ряду (sh), в дужках вказане середнє значення для всього ряду

Як бачимо з рис. 3, для розрахунку можна використовувати стаціонарні та нестаціонарні ряди, у випадку 3а) менше значення індексу фрактальності сигналізує про вищу міру складності, оскільки перемішаний ряд має нижчу складність, ніж фондовий індекс. Мале відхилення динаміки на різних масштабах сигналізує про високий рівень фрактальності, тому ефективності функціонування системи. Випадок 3б) подібний до 3а), але відхилення значень ентропії на масштабах менш суттєві. Отже, використання стаціонарного вихідного ряду дає дещо кращі результати.

Розглянемо результати оцінки міри ефективності для деяких фондових індексів, розрахунки зроблено на основі масштабно-залежних показників Ляпунова, процедура розрахунку яких детально описана в [10, 11].

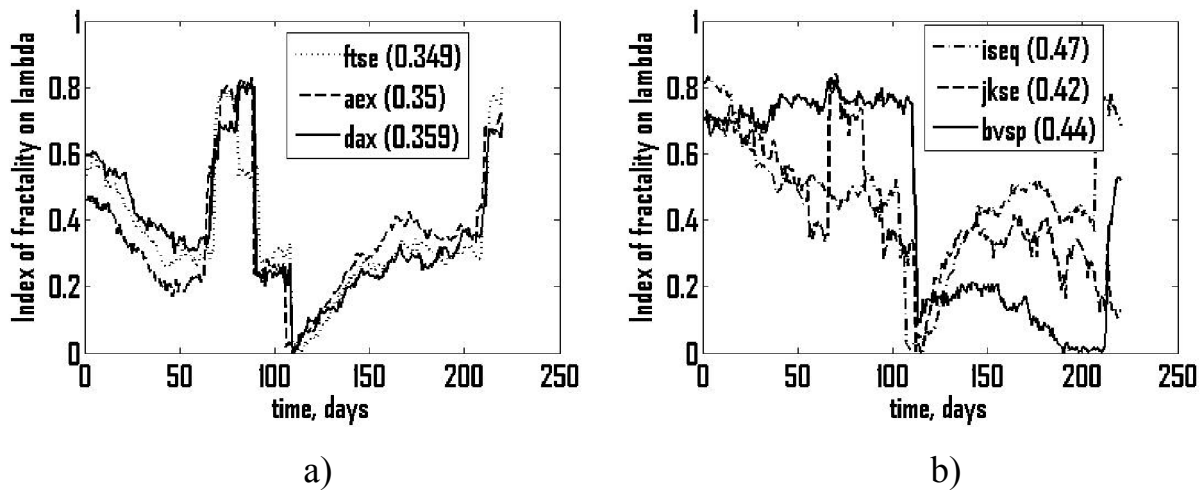


Рис. 4. Індекс фрактальності а) для розвинених країн (ftse – фондовий індекс Англії, aex – Нідерландів, dax - Німеччини), б) для країн, які розвиваються (iseq – фондовий індекс Ірландії, jkse – Індонезії, bvsp - Бразилії), в дужках вказане середнє значення для всього ряду

Як бачимо з рисунка 4, більш розвинені країни мають нижчий індекс фрактальності, ніж країни, які розвиваються, що вказує на вищу складність їх організації та підтверджує дієвість методики.

Визначивши особливості побудови ІФ, розрахуємо ефективність функціонування світових банків, ціни на акції яких представлені в [13], результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Індекс фрактальності для основних світових банків

| № | Символ банку на біржі | Індекс фрактальності |
|----|--|----------------------|
| 1 | BARC | 0.086 |
| 2 | BNP | 0.087 |
| 3 | Royal Bank of Canada (RY) | 0.090 |
| 4 | GS | 0.100 |
| 5 | Societe Generale Group (SCGLY) | 0.106 |
| 6 | JPM | 0.108 |
| 7 | CS | 0.110 |
| 8 | LLOY | 0.112 |
| 9 | Mitsubishi UFJ Financial Group, Inc. (MTU) | 0.113 |
| 10 | UBS | 0.122 |
| 11 | HSBA | 0.125 |

| | | |
|----|-------------------------------------|-------|
| 12 | DBK | 0.126 |
| 13 | Societe Generale Group(GLE) | 0.126 |
| 14 | HBOS | 0.132 |
| 15 | CredAgri(ACA) | 0.137 |
| 16 | DPB | 0.138 |
| 17 | Wells Fargo & Company (WFC) | 0.142 |
| 18 | BAC | 0.146 |
| 19 | C | 0.152 |
| 20 | SunTrust Banks, Inc. (STI) | 0.152 |
| 21 | MS | 0.154 |
| 22 | DB | 0.160 |
| 23 | SAN | 0.162 |
| 24 | AAL | 0.165 |
| 25 | UniCredit S.p.A. (UCG.MI) | 0.165 |
| 26 | China Construction Bank Corporation | 0.179 |

Як бачимо з таблиці 1, найвища ефективність за індексом фрактальності у BARC та BNP, найнижча у UniCredit S.p.A. та China Construction Bank Corporation, що відповідає макроекономічним показникам з прибутковості на акції цих банків [13], такі значення IF сигналізують про вищу інвестиційну привабливість першої групи банків.

Висновки з проведеного дослідження. Проведене дослідження дозволило розробити та перевірити експериментально одну з нових методик оцінки ефективності функціонування суб'єктів складних фінансово-економічних систем. Алгоритм, заснований на індексі фрактальності має універсальний характер, оскільки може застосовуватись з різними мірами складності та вхідними даними.

Вдалось оцінити ефективність (інвестиційну привабливість) функціонування основних банків світу, найвищу ефективність мають BARC та BNP, найнижчу - UniCredit S.p.A. та China Construction Bank Corporation.

В подальшому плануємо оцінити ефективність фондових індексів та основних валютних пар, порівняти особливості використання методики для різних рівнів дискретизації.

Література

1. Fama E. The behavior of stock market prices / Fama E. // Journal of Business. – 1965. – № 38. - P. 34 – 105.
2. Fama E. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work / Fama E. // Journal of Finance. – 1970. – № 25. - P. 383 – 417.
3. Samuelson P. Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly / Samuelson P. // Industrial Management Review. – 1965. – № 6. - P. 41 – 49.
4. Cont R. Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues / Cont R. // Quantitative Finance. – 2001. – № 1(2). - P. 223 – 236.
5. Peters E. Fractal Market Analysis. Applying Chaos Theory to Investment & Economics. J. Wiley & Sons / E. Peters // New York. – 1994.
6. G. Soros “The New Paradigm for Financial Markets: The Credit Crash of 2008 and What It Means”. -2008. - ISBN 978-5-91657-004-5124. – P. 124 – 170.
7. Kristoufek L. Capital markets efficiency: Fractal dimension, Hurst exponent and entropy (in Czech) / Kristoufek L., M. Vosvrda// Politicka ekonomie– 2012. – № 16(2). - P. 208 – 221.
8. Kristoufek L. Measuring capital market efficiency: Global and local correlations structure / Kristoufek L., M. Vosvrda // Physica A. – 2013. – № 392. - P. 184 – 193.
9. Сердюк О.А., Соловійов В.М., Кононенко В.В. Передвісники критичних та кризових явищ в складних фінансово – економічних системах // Зб.наук.праць ”Економіка: проблеми теорії і практики” – Дніпропетровськ., ДНУ, 2004, в.197: В 5 т. Том V с.1304-1310.

10. Gao J.B. Multiscale analysis of biological data by scale-dependent Lyapunov exponent / J.B. Gao, J. Hu, W.W.Tung, E.Blasch // *Frontiers in Physiology*. – 2012. – V.2. – P.1-12.

11. В.М. Соловйов, І.О. Стратійчук Використання масштабно-залежних показників Ляпунова для дослідження складності фінансово-економічних систем // *Науково-теоретичний журнал Хмельницького економічного університету: «Наука й економіка»*. – 2012. – №4 (28) – 2. – с.88 – 94.

12. Madalena Costa, Ary L. Goldberger, C.-K. Peng. Multiscale entropy analysis of biological signals // *Phys Rev E*, V. 71, 021906, 2005. – P.1-18.

13. Джерело статистики світових фінансових інструментів [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://finance.yahoo.com>