

УДК 330.115:336.76

РЕКУРЕНТНИЙ КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ФІНАНСОВОГО РИНКУ УКРАЇНИ

Л. Зомчак

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79008, м. Львів, проспект Свободи, 18
E-mail: kiber@franko.lviv.ua*

У статті проаналізовано фінансовий ринок України на основі фінансового часового ряду індексу ПФТС. У ході аналізу використано метод рекурентних графіків для перевірки даних на наявність хаотичних залежностей. Для знешумлення часового ряду застосовано вейвлет-технології.

Ключові слова: рекурентний графік, детермінований хаос, аттрактор, вейвлет-аналіз.

Фінансові часові ряди зазвичай досліджують з точки зору стохастичних процесів, тобто, виходячи із припущення, що поведінка фінансових ринків керується непрогнозованими стохастичними змінними. З іншого боку, відомо, що прості нелінійні детерміновані системи можуть демонструвати феномен детермінованого хаосу, причому відрізнити ці два типи динаміки досить складно, особливо, якщо досліджувана детермінована система характеризується високою розмірністю.

Останніми роками спостерігається зростання зацікавлення до розробки моделей нелінійної динаміки на фінансових ринках. Це пояснюється тим, що нелінійні моделі можуть уловлювати дуже складні патерни у фінансових даних. У той же час, як доведено на емпіричних даних, лінійний підхід не дозволяє врахувати і проаналізувати сильно нерегулярну поведінку, яка може демонструватися численними фінансовими активами. До початку 60-х років у нелінійних дисипативних динамічних системах в стаціонарному режимі спостерігали тільки періодичні і квазіперіодичні рухи. Проте в 1963 році в динамічній системі Лоренцем був знайдений дуже складний рух, який сприймався як хаотичний. Для характеристики таких рухів ввели поняття „динамічний хаос”. Слово „динамічний” означає у цьому випадку відсутність джерела флуктуацій. Один із найвідоміших дослідників цих процесів Г.Шустер дає таке визначення: „під детермінованим хаосом розуміємо нерегулярний або хаотичний рух, породжений нелійними системами, при якому динамічні закони однозначно визначають еволюцію у часі стану системи при відомій передісторії” [1, с. 13]. Слід зважати на те, що інколи поняття „стохастичність” та „хаос” ототожнюються, як, наприклад, у праці Г. Заславського [2, с.8]. Тут слід зауважити, що нелінійність

є необхідною, але не достатньою умовою для виникнення хаотичного руху. Причиною хаотичної поведінки динамічної системи не є зовнішні джерела шуму, велика кількість ступенів вільності, невизначеність. Причиною нерегулярності у цьому випадку нелінійних систем є експоненційне розходження початкових траєкторій у фазовому просторі. Оскільки початкові умови можуть бути задані лише з скінченною точністю, то й прогноз виду руху за заданих початкових умов стає практично неможливим.

Однією з головних характеристик хаотичної системи є її велика чутливість до значень початкових умов. Це означає, що дві близькі траєкторії, що починаються у сусідніх точках фазового простору з часом можуть дуже сильно розходитись. Кількісною мірою оцінки такої характеристики прийнято вважати максимальний показник Ляпунова (експоненту Ляпунова), який є найбільшим показником із спектру Ляпунова.

Враховуючи сильну чутливість хаотичних систем до початкових умов, довгострокове прогнозування поведінки таких систем неможливе, причому це не залежить від сфери прикладного застосування методів теорії динамічного хаосу, однак короткостроковий прогноз все ж можливий.

Аттрактори систем, що демонструють хаотичну поведінку, прийнято називати „дивними”. Одна з характерних рис дивних аттракторів – їх фрактальна розмірність менша, ніж кількість ступенів вільності системи. Найчастіше як міру структури аттрактора використовують розмірність Хаусдорфа, інформаційну ентропію та кореляційну розмірність.

Для аналізу характеру залежностей на фінансовому ринку України обрано індекс Першої Фондової Торговельної Системи (ПФТС) від часу початку його обчислення у 1996 році і дотепер [3]. Індекс ПФТС ураховує в середньому близько 70% угод, що укладають на організованому фондовому ринку України. Це єдиний український фондовий індекс, що визнається міжнародними фінансовими організаціями. Послідовність значень індексу ПФТС утворюють фінансовий часовий ряд.

Фінансовий часовий ряд можна розглядати як послідовність спостережень за системою фінансового ринку. Але сукупність цих спостережень одномірна, тоді як система багатомірна. Вирішити цю проблему можна за допомогою ідеї реконструкції фазового простору, запропонованої Руелем. Згідно теореми Такенса, використовуючи лише одну координату динамічної системи, можна реконструювати вихідний аттрактор у просторі із затримкою таким чином, що реконструйований аттрактор матиме такі самі топологічні властивості, що й вихідний. Для цього необхідно правильно вибрати параметри вкладення: m – розмірність простору вкладення і τ – величина часової затримки або лагу [4].

У даній роботі для дослідження властивостей фінансових часових рядів використано метод рекурентних графіків. Це новий метод аналізу хаотичної динаміки фінансових часових рядів [5,6]. Рекурентний графік – це графічне представлення матриці із точок (i,j) , де кожна точка є рекурентною і відзначається на графіку, якщо відстань між початковою точкою і цією ж точкою, але із затримкою, яка не перевищує заданий пороговий рівень, відстань вимірюється в евклідовому розумінні. Причому чим більша відстань, тим темнішим кольором вона відображена на графіку. Очевидно, що матриця відстаней між точками симетрична відносно головної діагоналі, тому головна діагональ на графіку завжди

зображається вигляді білої лінії. На практиці порогове значення вибирається настільки малим, наскільки це можливо, але з урахуванням того факту, що при занадто малих значеннях можуть втрачатись структурні елементи, що особливо важливо для зашумлених даних. Оскільки кожна координата є представленням точки у часі, то рекурентний графік надає інформацію про часову кореляцію точок фазового простору.

Якщо фінансовий часовий ряд згенерований детермінованою системою, то його траєкторія буде повертатись до аттрактора. Тоді на рекурентному графіку можна спостерігати короткі лінійні сегменти світлого кольору, паралельні до головної діагоналі. Якщо є часовий ряд повністю випадковий, то на рекурентному графіку не проявлятиметься наявність структури.

Зручність цього методу дослідження полягає також у тому, що його можна застосовувати до вхідних нестационарних даних, тобто не обов'язкова попередня обробка досліджуваного фінансового часового ряду. Ще одна перевага топологічних методів типу рекурентних графіків – можливість дослідження рядів невеликої розмірності, адже проблема розмірності характерна для економічних та фінансових даних. Особливо ефективний цей метод аналізу для дослідження нестационарних систем високої розмірності із шумом.

Вхідною інформацією при побудові рекурентного графіка є розмірність простору вкладення, довжина затримки сигналу, розмірність вікна Зейлера. Для оцінювання розмірності простору вкладення використано метод фальшивих найближчих сусідів, а для аналізу довжини затримки – метод взаємної інформації. Для визначення розмірності вікна Зейлера побудовано графічний тест, запропонований Провензалем, відомий як „графік просторово-часового відділення” (space time separation plot, STP) [7, с. 87]. За цим тестом знаходять ймовірності того, що дві точки реконструйованого фазового простору розміщені на відстані меншій, ніж задана величина, що є функцією не лише від позиції у просторі, а також від часу між точками. Відповідно будують ізолінії, наприклад, на рівнях 10%, 20% ... 100% для пар точок із заданим часовим інтервалом. Цей графічний тест із сімейства кривих із різним значенням густини ймовірності розподілу дозволяє ідентифікувати часову кореляцію всередині часового ряду. Розмірність „вікна Зейлера” визначають як величину відстані (зображена на осі абсцис), при якій досягається перший локальний мінімум, спільний для всіх ліній однакової густини розподілу. Результати тесту для індексу ПФТС та його віддач показані на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

Зображення рекурентних графів для початкового часового ряду індексу ПФТС та його стаціонарних логарифмічних віддач зображено на рис. 3 відповідно справа наліво.

Візуальний аналіз цих рекурентних графів не дає підстав говорити про наявність нелінійних залежностей хаотичної природи у досліджуваному часовому ряді. Більш детальні методи аналізу рекурентних графів полягають в обчисленні спеціальної системи показників.

Отже, попри очевидну наявність нелінійних залежностей у фінансових часових рядах з фондового ринку України, однозначно стверджувати про їх хаотичну природу не можна. Більшість обчислених характеристик цих часових рядів приймають значення із „зони ризику”, тобто не мають необхідної точності.

Головною причиною такої ситуації можна назвати велику зашумленість досліджуваних фінансових часових рядів та не завжди достатню довжину ряду.

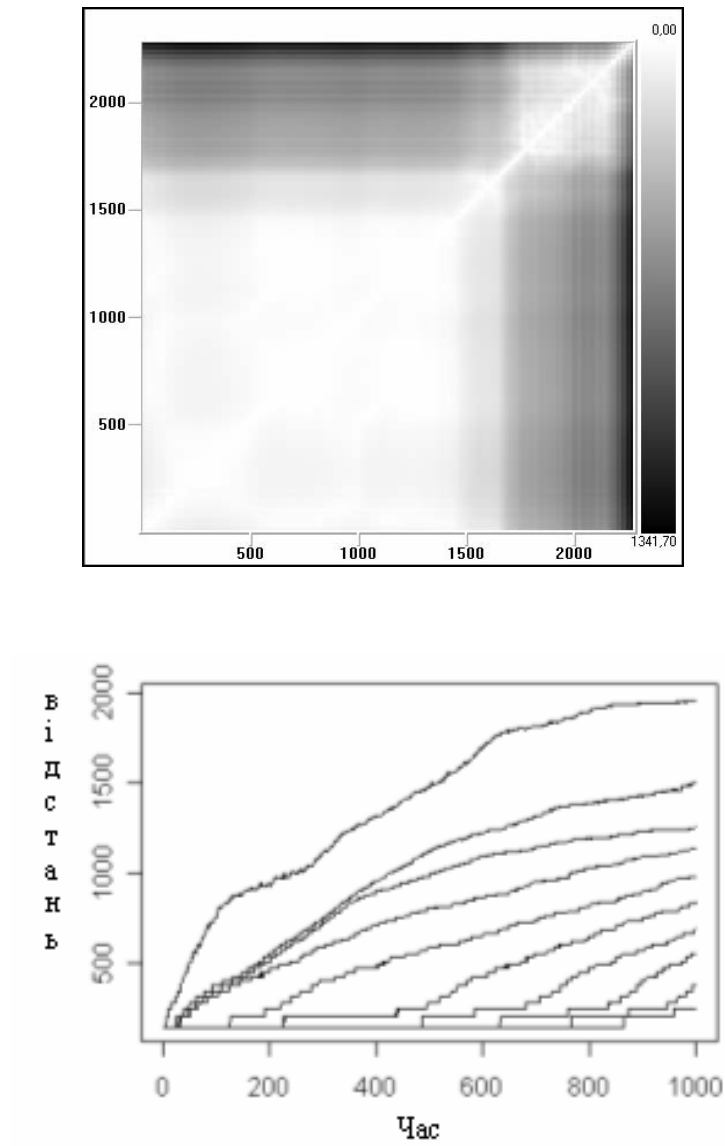


Рис. 1. Графік відділення проміжків часу для індексу ПФТС

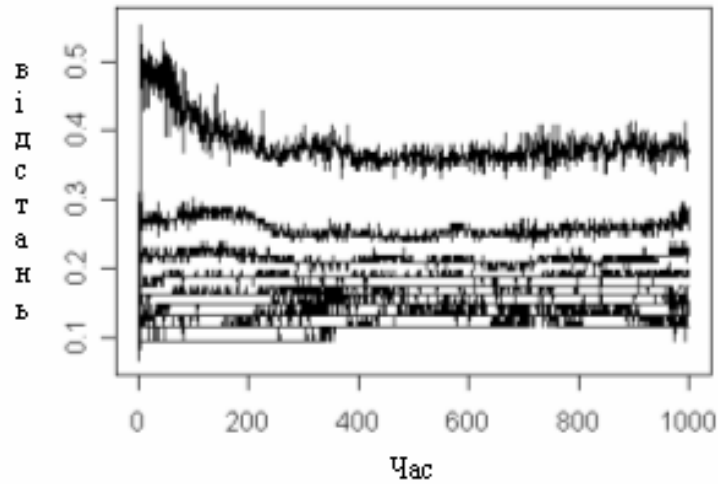


Рис. 2. Графік відділення проміжків часу для віддач індексу ПФТС

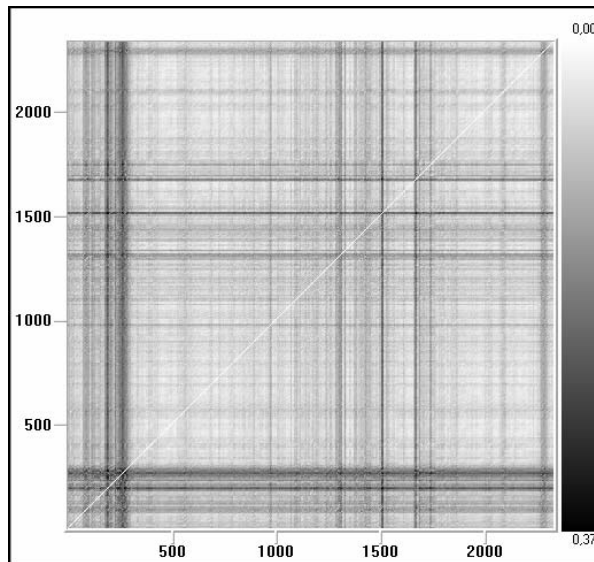


Рис. 3 Рекурентні графіки для індексу ПФТС та його логарифмічних віддач (справа наліво)

Найпростіші алгоритми зменшення складової нелінійних шумів у часових рядах полягають у заміщенні центральних координат кожного вектора вкладення локальними середніми із цих координат. У такий спосіб досягають локально сталого наближення до справжньої динаміки системи. Однак такі схеми знешумлення досліджуваних фінансових часових рядів не дають очікуваного результату.

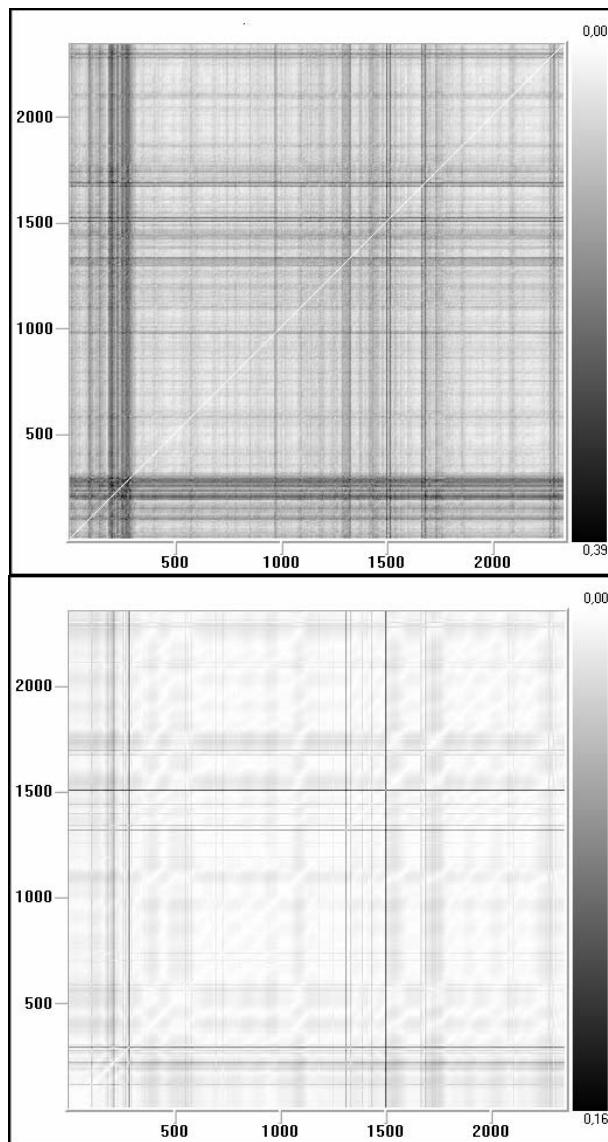


Рис. 4. Рекурентні графіки оригінального та знешумленого рядів (зліва направо) індексу ПФТС

Для знешумлення досліджуваного фінансового часового ряду використано вейвлет-технології. Вейвлет-перетворення одномірного сигналу, яким є фінансовий часовий ряд, полягає у його розкладі по базі, сконструйованій із

функцій, що володіють певними властивостями солітоноподібної функції (вейвлета), через масштабні зміни та переноси.

Побудовані рекурентні графіки для оригінального та знешумленого часового ряду індексу ПФТС. (рис.4, зліва направо). На рисунку зліва не видно ознак структури. На графіку, побудованому по даних, очищених від шуму (він зображений справа на рис. 4), видно лінії, паралельні до головної діагоналі, що є ознакою хаотичної природи досліджуваного ряду.

Ці лінії забарвлені у світлий колір, що свідчить про те, що траєкторія досліджуваного фінансового часового ряду повертається на попередні значення, отже має місце наявність аттрактора.

Обчислення, проведені для очищених від шуму вхідних даних підтвердили припущення про хаотичну природу досліджуваних фінансових часових рядів, адже при цьому точність обчислених показників значно покращилась. Таким чином виявлено ознаки хаотичної поведінки фінансових часових рядів індексу ПФТС.

1. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
2. Заславский Г. М. Стохастичность динамических систем. – М.: Наука, 1984. – 272с.
3. Перша Фондова Торгівельна Система (ПФТС). – Режим доступу: www.pfts.com. – Заголовок з екрану.
4. Shang P., Li X. Chaotic analysis of traffic time series / P. Shang, X. Li, S. Kamae // Chaos, solitons and fractals. – 2005. – № 25. – P. 248-252.
5. Holyst J. Observations of deterministic chaos in financial time series by recurrence plots, can one control chaotic economy? / J. Holyst, M. Zebrowska, K. Urbanowicz // The European Physical Journal. – 2001. – №20. – P. 531-535.
6. Zbilut J. Embeddings and delays as derived from quantification from recurrence plots / J. Zbilut, C. Webber // Physics Letters A. – 1992. - №171. – P. 199-203.
7. Kantz H.. Nonlinear time series analysis / H. Kantz, T. Schreiber. – Cambridge: Cambridge University press, 2004. – 369 p.

RECURRENCE QUANTIFICATION ANALYSIS OF THE UKRAINIAN FINANSIAL MARKET

L. Zomchak

*Ivan Franko National University of L'viv
Svoboda Av., 18 UA – 79008 L'viv, Ukraine
E-mail: kiber@franko.lviv.ua*

In the article the Ukrainain financial market on the basis of the PFTS-index financial time series is analyzed. The recurrence plot method was used during analysis for testing data for the chaotic dependences. Wavelet-techniques were used for clearing time series from noise.

Key words: recurrence plot, deterministic chaos, attractor, wavelet-analysis.

**РЕКУРРЕНТНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО
РЫНКА УКРАИНЫ****Л. Зомчак**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франка,
Проспект Свободы 18, 79008 Львов, Украина
E-mail: kiber@franko.lviv.ua*

В статье проанализированы финансовый рынок Украины на основе финансового временного ряда индекса ПФТС. В ходе анализа использован метод рекуррентных графиков для проверки данных на наличие хаотических зависимостей. Для знешумления временного ряда применен вейвлет-технологии.

Ключевые слова: рекуррентный график, детерминированный хаос, аттрактор, вейвлет-анализ.