

Дослідження/■ **Олексій Пластун**  
*Oleksii Plastun*

Кандидат економічних наук, доцент кафедри бухгалтерського обліку та аудиту Української академії банківської справи Національного банку України (м. Суми)

PhD (Economics), Associated Professor of the Chair of Accounting and Audit of the Ukrainian Academy of Banking of the National Bank of Ukraine (Sumy)

■ **Інна Макаренко**  
*Inna Makarenko*

Кандидат економічних наук, асистент кафедри бухгалтерського обліку та аудиту Української академії банківської справи Національного банку України (м. Суми)

PhD (Economics), Teaching Assistant of the Chair of Accounting and Audit of the Ukrainian Academy of Banking of the National Bank of Ukraine (Sumy)

## Моделювання поведінки фінансових ринків під час фінансової кризи із застосуванням фрактальної гіпотези ринку

## Modeling the financial markets' behavior during the financial crisis with the use of the fractal market hypothesis

*Розглянуто підходи щодо моделювання та прогнозування динаміки фондового ринку України в кризовий період на основі фрактальної гіпотези ринку. Обґрунтовано доцільність використання показника Херста для оцінки рівня персистентності фондового ринку України та доведено пріоритетність застосування R/S-аналізу для його розрахунку. Отримані результати розрахунку показника Херста за даними*

*найбільших українських бірж засвідчили значну персистентність індексних рядів і дали змогу підтвердити гіпотезу про неефективність ринку, а також зробити висновки про напрям його розвитку в майбутньому.*

*Approaches to modeling the financial markets' behavior during the financial crisis with the use of the fractal market hypothesis are considered. The appropriateness of the Hurst exponent for the assessment of the persistence of the Ukrainian stock market and the use of the R/S-analysis for its calculation were proved. The Hurst exponent calculated by data of the largest Ukrainian stock exchanges showed the significant persistence of index series and made it possible to confirm the hypothesis of market inefficiency and to make conclusions about its development in the future.*

*Ключові слова:* персистентність, гіпотеза ефективного ринку, фрактальна гіпотеза ринку, фінансова криза, показник Херста.

*Key words:* persistence, efficient market hypothesis, fractal market hypothesis, financial crisis, Hurst exponent.

В умовах реформування фінансових ринків різних країн світу в рамках заходів щодо подолання наслідків світової фінансової кризи активізується процес переосмислення теоретичних концепцій, котрі поя-

нують поведінку ринків. Важливу роль у цьому процесі посідає альтернативна традиційній гіпотезі ефективного ринку фрактальна гіпотеза ринку, сутність якої полягає в тому, що в основі функціонування фінан-

сових ринків лежать фрактальні<sup>1</sup> (самоподібні) явища і процеси. Таке розуміння фінансових ринків потребує

<sup>1</sup> Fractus (лат.) – подрібнений, дробовий – нерегулярна, самоподібна структура. Поняття “фрактал” уперше запропонував Б.Мандельброт у 1957 році.

нового теоретико-методичного підходу щодо їх інтерпретації. Відповідно до цього ключового постулату фінансові ринки розуміються як сукупність значної кількості диверсифікованих інвестиційних горизонтів ірраціональних учасників ринку (самоподібної фрактальної структури ринку). Збалансованість цих горизонтів є визначальною для розвитку ринку і характеризує його стан у сильній формі ефективності.

Використання ключових категорій фрактальної гіпотези ринку (а саме: персистентність ринку<sup>2</sup>, шум ряду<sup>3</sup>, фрактальність, а також показників, які свідчать про стан ринку: показник Херста<sup>4</sup>, фрактальна розмірність) є важливими засобами для формування нової нелінійної методики моделювання поведінки фінансового ринку під час кризи та розробки прогнозів щодо виникнення криз у майбутньому. Результати застосування методики мають теоретичну та прикладну цінність як з позиції своєчасної ідентифікації та попередження кризових явищ на фондовому ринку його регуляторами, так і з позиції вироблення його учасниками торгових стратегій, котрі враховують вплив фактора невизначеності.

### АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ КОНЦЕПЦІЙ, ЩО ОПИСУЮТЬ МЕХАНІЗМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФІНАНСОВИХ РИНКІВ

Гіпотеза ефективного ринку з 70-х рр. ХХ ст. тривалий час була провідною в поясненні механізму функціонування фінансових ринків, своєрідним наріжним каменем сучасної теорії фінансів та більшості методичних підходів до оцінювання фінансових інструментів. Численні моделі оцінки фінансових інструментів та їх портфелів побудовано з урахуванням того, що ця гіпотеза виконується.

<sup>2</sup> В економічній теорії означає спроможність певного ринкового стану існувати довше, ніж процес, що спричинив його. З позиції фінансових ринків ідеться про трендову стійкість ринку, тобто про наявність у нього довгострокової пам'яті.

<sup>3</sup> Із позиції гіпотези фрактального ринку “шум ряду” – характеристика процесу цінової динаміки. Характеристика різних типів “шумів” наведено в таблиці 1.

<sup>4</sup> Гарольд Едвін Херст (1880–1978 рр.) – англійський фізик, автор статистичного винаходу та емпіричного (практичного) відкриття, пов'язаних з ідеєю про те, що ступінь інтенсивності певної хроніки (подій) прагне бути циклічним, але не періодичним. Ця особливість є одним з аспектів довготривалої статистичної залежності майбутнього від минулого.

Власне, гіпотеза ефективного ринку, запропонована Юджином Фама, передбачає, що ринок, на якому ціни відображають усю наявну інформацію, є ефективним [1]. Відповідно до цієї теорії сучасні фінансові ринки, котрі є інформаційно прозорими, відповідають поняттю ефективних ринків.

У контексті проведеного аналізу слід наголосити, що гіпотеза ефективного ринку описує ідеальний стан ринку, їй притаманна простота інтерпретації в частині ранжування форм ринкової ефективності та використання зручного і зрозумілого математичного апарату. Вона зазвичай справджується під час періоду зростання ринку за відсутності на ньому кризових явищ.

Проте, як свідчить досвід, гіпотеза ефективного ринку з ряду причин виконується не завжди. Передусім це наявність численних ринкових аномалій<sup>5</sup>: часові ефекти, протитрендові стратегії, стратегії “дотримання трендової відповідності”, додатна автокореляція приросту цін у періоди до шести місяців і від'ємна – у періоди від трьох до восьми років для ринкових індексів, ряд календарних аномалій (ефект “місяця року”, ефект “дня тижня”, ефект “повного місяця”, ефект “пори року” тощо).

Крім того, під час фінансової кризи 2007–2009 рр. найбільших втрат зазнали учасники тих ринків, які традиційно вважалися ефективними та з екстраординарною ймовірністю виникнення криз з позиції гіпотези ефективного ринку, зокрема ринки економічно розвинутих країн. Кризовий стан цих ринків, особливо тих, учасники яких здійснювали операції з кредитними та іпотечними фінансовими інструментами, стали джерелом поширення шоків на фінансові ринки інших країн і призвели до загальної дестабілізації фінансових та економічних систем країн світу.

Подібні приклади спостерігалися і раніше. Так, наприклад, 27 жовтня 1997 року індекс Доу-Джонса за один день знизився на 7.2% (теоретична ймовірність такої події – одна п'ятдесятимільярдна). Таке падіння було зумовлене значними збитками на азійських ринках, котрі спричинили розпродаж активів на фінансових ринках США. У липні 2002 року цей індекс тричі різко падав протягом се-

<sup>5</sup> Приклади ринкової неефективності. Детально сутність окремих ринкових аномалій розглянуто у праці [5].

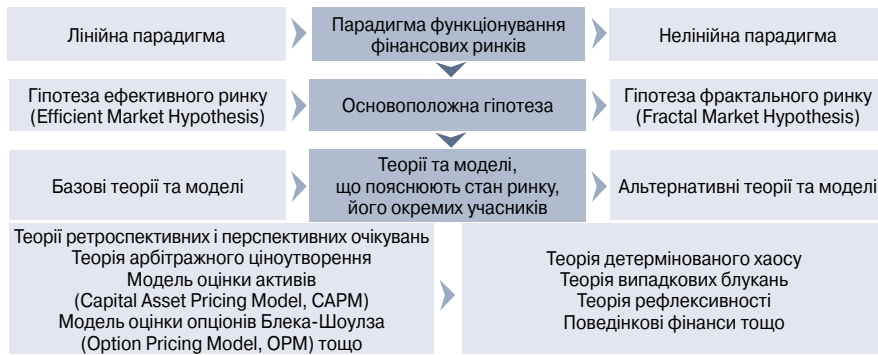
ми торгових днів (імовірність цієї події – один випадок із чотирьох трильйонів). 19 жовтня 1987 року (загальновідомий “чорний понеділок”) індекс Доу-Джонса впав на 29.2%. Цей день є одним із найгірших торгових днів на фондовому ринку США за останнє століття. За стандартними моделями фінансової теорії така подія могла статися менш як в одному із 1 050 випадків [7].

Ринкові реалії та розвиток альтернативних концепцій (поведінкових фінансів, гіпотези фрактального ринку (ГФР) та інших) спонукають до перегляду панівного становища гіпотези ефективного ринку.

Дуже часто гіпотезі ефективного ринку протиставляється також одна з гіпотез фрактальної геометрії – гіпотеза фрактального ринку (Fractal Market Hypothesis, FMH), розроблена Б.Мандельбротом [3], яка пропонує покласти в основу розуміння сутності фінансового ринку складніші випадкові процеси. Підтвердження та обґрунтування фрактальної природи фінансових ринків було здійснено у працях Е.Федера, Е.Петерса, В.Г.Ларіна, М.В.Дубовика, О.М.Сохацької та багатьох інших. Зокрема, Б.Мандельброт довів, що поведінка фінансових інструментів може бути описана за допомогою фрактальних моделей. Це свідчить про те, що в основі перебігу багатьох ринкових явищ є фрактальні випадкові процеси, повноцінний аналіз яких на практиці потребує суттєвих напрацювань у математичному апараті [3]. Е.Петерсом були досліджені основні фрактальні властивості фінансового ринку [4]. На основі гіпотези фрактальності В.Г.Ларін проводить дослідження волатильності російського і зарубіжного фондових ринків та їх порівняння [6]. О.М.Сохацька доводить обґрунтованість застосування синергетичного підходу із застосуванням фрактальної геометрії і теорії детермінованого хаосу до аналізу ф'ючерсних ринків і визначає його фрактальну природу [9].

Таким чином, проведений аналіз теорій функціонування фінансових ринків дає змогу зробити висновок про перехід від лінійних теорій ринку до нелінійних (див. схему 1) та свідчить про необхідність перегляду основоположних гіпотез у його функціонуванні, адже використання хибної гіпотези з урахуванням стану та періоду розвитку ринку призведе до неадекватності методик оцінювання його поведінки.

Схема 1. Зміна теоретичних концепцій, на яких ґрунтується функціонування фінансових ринків



Слід зазначити, що дискусія з приводу домінування тієї чи іншої гіпотези точиться між їх прихильниками уже тривалий час, загострюючись у періоди криз, проте вона не вшухає навіть тоді, коли кожній зі сторін бракує переконливих аргументів для обстоювання власної позиції.

Проведений аналіз концепцій дав змогу зробити висновок про недовільність антагоністичного їх протиставлення, оскільки кожна з них відображає альтернативний погляд на функціонування фінансового ринку та характеризує його стан, зумовлений факторами впливу на цей ринок, а також періодом його розвитку. Еволюційний перехід до нелінійної концепції функціонування фінансового ринку зумовлений масштабністю кризових явищ і потребою їх прогнозування. При цьому вичерпні пояснення поведінки фінансового ринку в стані рівноваги під час стабільного періоду можемо здійснити за допомогою використання положень гіпотези його ефективності.

### ОСОБЛИВОСТІ ФРАКТАЛЬНОЇ ГІПОТЕЗИ РИНКУ ТА ПЕРСИСТЕНТНІСТЬ ЯК ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКА

Характеризуючи гіпотезу фрактального ринку, слід підкреслити, що фрактальна природа фінансових ринків та опис процесів, котрі відбуваються на ньому, знайшли своє відображення у працях згаданих вище вчених. З урахуванням мети і предмету дослідження зупинимось лише на її ключових постулатах (див. схему 2).

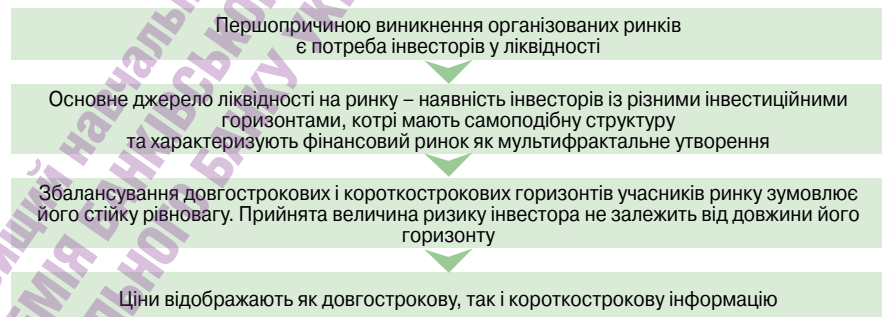
Крім розуміння фінансових ринків як фрактальної самоподібної структури інвестиційних горизонтів з формального погляду, фрактальна гіпотеза ринку оперує потужним математичним апаратом для оцінювання часових рядів на фінансових рин-

ках та показниками щодо інтерпретації висновків за результатами застосування цього апарату.

Ключовим показником, ринковою властивістю в межах цієї гіпотези є персистентність ринку (коли певний стан ринку триває довше, ніж процес, який спричинив його). Фактично йдеться про наявність у фінансових ринків довгострокової пам'яті.

Поясненням цього факту може стати ключовий постулат гіпотези фрактального ринку. На противагу

Схема 2. Основні положення гіпотези фрактального ринку



гіпотезі ефективного ринку, наріжним каменем ГФР є розуміння того, що ціни на фінансові інструменти на ринку не підпорядковуються нормального закону розподілу, що люструє броунівський рух. Навпаки, на фінансових ринках спостерігається як додатна кореляція цін (тренд) – персистентні ряди (набагато частіше), так і від'ємна кореляція – антиперсистентні ряди (значно рідше).

Необхідно підкреслити, що пошуки науковців у сфері дослідження персистентності і фрактальної природи фінансових ринків не обмежувалися доведенням факту існування персистентності. Вони намагалися розробити дієві методики розрахунку показників, котрі підтверджують її наявність на ринку та на основі яких аналітики можуть спрогнозувати тенденції його розвитку.

### ПОКАЗНИК ХЕРСТА І МЕТОДИ ЙОГО РОЗРАХУНКУ

Серед показників оцінки рівня персистентності найпоширенішими є такі: фрактальної розмірності, показник (експонента) Херста, індекс фрактальної розмірності й індекс варіації фрактального об'єкта. Найчастіше серед названих показників науковці використовують перші два. При цьому між ними є щільний, взаємозумовлений зв'язок.

Належним чином обґрунтовані значення фрактальної розмірності<sup>6</sup> свідчать про різний рівень впливу факторів на досліджуване явище (систему), що характеризується певним часовим рядом. Так, якщо значення фрактальної розмірності ряду не перевищує 1.4, система перебуває під впливом односпрямованих факторів. Якщо розмірність дорівнює 1.5, то це свідчить про взаємокомпенсуючий вплив різноспрямованих факторів. Якщо ж значення становить більше 1.6, існує можливість переходу системи до нового стану [10].

На практиці визначення фрактальної розмірності часових рядів (D), котрі мають мільйони значень (у випадку аналізу фінансових ринків), вельми ускладнене. Простішим показником, що її характеризує, є показник, запропонований Г.Е.Херстом і називається показником (або експонентою) Херста (H) [2]. Між фрактальною розмірністю і показником Херста є така залежність:

$$D = 2 - H \tag{1}$$

Враховуючи вимогу універсальності показника та комплексності охоплення часових рядів для аналізу,

<sup>6</sup> Показником, який характеризує рівень непередбачуваності ринку, є його фрактальна розмірність, що означає ступінь заповнення площі або простору об'єктом дослідження [8]. Фрактальну розмірність, запропоновану Феліксом Гаусдорфом у 1919 році, можна використати як аналітичний інструмент дослідження часових рядів фінансових ринків.

пропонуємо використовувати показник Херста як показник персистентності ряду. Підтвердження наших висновків знаходимо й у працях багатьох зарубіжних авторів.

Проте необхідно зважати, що є різні підходи до розрахунку показника Херста. Традиційно науковці називають кілька основних методів (див. схему 3).

У науковій спільноті немає єдиного узгодженого підходу щодо застосування того чи іншого методу з урахуванням мети дослідження. Наприклад, метод аналізу стабіліграм (stabilogram diffusion analysis, SDA) та метод аналізу коливань після включення масштабно-залежних трендів (detrended fluctuation analysis, DFA) найчастіше застосовуються в медичних дослідженнях. Стосовно прикладних досліджень фінансових даних у межах обраного нами об'єкта найпоширенішим є використання методу R/S-аналізу.

R/S-аналіз уперше був застосований Г.Херстом у гідрологічних дослідженнях і вдосконалений Б.Мандельбротом, Е.Пітерсом та іншими дослідниками фрактальної природи явищ та фінансових ринків. Порівняно з іншими методами метод R/S-аналізу є відносно простим, придатним для програмування та графічної інтерпретації.

Сам алгоритм R/S-аналізу як методу нормованого накопиченого розмаху часових рядів динаміки досить детально описаний у теорії стохастичної математики. В узагальненому вигляді він складається з восьми кроків [5]. Відповідно до цього методу вихідний ряд поділяється на підперіоди однакової довжини, для кожного з яких об-

числюється розмах  $R$  та середнє квадратичне відхилення  $S$ . Для кожного підперіоду обчислюється середнє відношення  $R/S$ , розмір підперіоду збільшується й розрахунок повторюється знову, доки розмір підперіоду не зрівняється з розміром початкового ряду. В результаті для кожного підперіоду визначається середнє значення  $R/S$ ;

$$(R/S)_n = (1/A) \sum_{i=1}^A (R_{Ia}/S_{Ia}), \quad (2)$$

де  $R_{Ia}$  – діапазон відхилень, що визначається як максимальне значення за вирахуванням мінімального значення  $X_{k,a}$  у межах кожного напівперіоду  $I_a$ ;

$S_{Ia}$  – вибіркоче стандартне відхилення, яке розраховується для кожного з напівперіодів  $I_a$ ;

$A$  – число суміжних напівперіодів довжиною  $n$  так, що  $A_n = N$ .

На основі цих значень будується регресія методом найменших квадратів:

$$\log(R/S)_n = \log(c) + H \times \log(n). \quad (3)$$

Кут нахилу прямої, побудованої за рівнянням регресії, є оцінкою показника  $H$  – це персистентність ринку, при цьому значення  $c$  є константою.

Показник Херста може набувати значень в інтервалі  $[0-1]$ , а його розрахункові значення перебуватимуть у межах, зазначених у таблиці 1.

Таким чином R/S-аналіз є однією з найпопулярніших методологій оцінювання рівня персистентності фінансових ринків. Незважаючи на вельми широкий спектр уже проведених досліджень, неоднорідність отриманих результатів та нестача досліджень, присвячених динамічному аналізу персистентності ринку в різних фазах економічного циклу, зумовлюють необхід-

Схема 3. Методи розрахунку показника Херста

Метод модулів приростів
Метод дисперсії приростів
Метод дисперсії різниць
Метод періодограм
Метод дискретної варіації
Метод Уїтла
Метод квазімаксимальної правдоподібності
Метод максимальної правдоподібності
Метод, заснований на швидкості зростання логарифмічних дохідностей залежно від довжини часового інтервалу
Метод R/S-аналізу (rescaled range analysis)
Метод SDA (stabilogram diffusion analysis)
Метод DFA (detrended fluctuation analysis)

ність проведення подальших досліджень із цієї проблематики. Крім того, є чимало напрацювань щодо модифікації методології R/S-аналізу з метою підвищення адекватності результатів його застосування. Так, А.Гачковим, О.Граничиним, Б.Поляком [5] були запропоновані рандомізовані алгоритми цього аналізу з метою звільнення рядів даних від зайвих “шумів”, що зменшують імовірність отримання точних результатів.

### МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДОЛОГІЇ R/S-АНАЛІЗУ ТА ПЕРЕВІРКА ЙОГО АДЕКВАТНОСТІ

Перш ніж переходити безпосередньо до аналізу даних фондового ринку України, нами було зроблено

Таблиця 1. Характеристика інтервальних значень показника Херста

Інтервал	Гіпотеза	Розподіл	“Пам’ять” ряду	Тип процесу	Торговельні стратегії
$0 \leq H < 0.5$	Ряд є фрактальним, справджується гіпотеза фрактального ринку	“Важкі хвости” розподілу	Антиперсистентність ряду, з від’ємною кореляцією зміни вартості інструментів	“Рожевий шум” із частою зміною напрямку руху цін <sup>7</sup>	Торгівля на ринку є ризикованішою для індивідуального учасника
$H = 0.5$	Справджується гіпотеза ефективного ринку	Рух цін на активи є прикладом випадкового броунівського руху (вінерівський процес), часовий ряд розподілений за нормальним законом	Немає кореляції зміни вартості активів (пам’яті ряду)	“Білий шум” незалежного випадкового процесу	“Переграги” ринку з використанням тієї чи іншої торговельної стратегії неможливо
$0.5 < H \leq 1$	Ряд є фрактальним, справджується гіпотеза фрактального ринку	“Важкі хвости” розподілу	Персистентність ряду, з додатною кореляцією зміни вартості активів	“Чорний шум”	Котирування ринку перебувають у підпорядкованні тренду, схильність до виникнення трендів і криз

<sup>7</sup> Поняття “шум даних” запозичене з фізики і в економетриці характеризує відповідність між різними типами сигналів рядів даних та певними кольорами, за аналогією між спектром сигналу (статистичними властивостями розподілу випадкового процесу) і спектрами різних кольорів видимого світла. Наприклад, білий рівень шуму відповідає безперервному в часі та випадковому процесу, він вельми часто покладається в основу генераторів випадкових чисел.

спробу вдосконалити методологію R/S-аналізу шляхом попередньої фільтрації вхідних даних, а також урахувати необхідність перевірки адекватності отриманих результатів. Гіпотеза, яка при цьому перевіряється: попереднє згладжування даних дає змогу зменшити рівень “шуму” даних, а також вплив аномальних цінових коливань<sup>8</sup>, таким чином зробивши їх наближеними до відображення фактичного стану речей (ситуації на ринку). Важливим етапом R/S-аналізу є перевірка отриманих результатів шляхом розрахунку показника Херста для випадково перемішаних даних, що були об’єктом аналізу. Відповідно до теорії випадковим чином перемішані базові дані мають формувати випадковий ряд, для якого коефіцієнт Херста дорівнює 0.5.

З метою перевірки гіпотези нами було проаналізовано прості, втім найуживаніші методи:

1) **згладжування за допомогою ковзних середніх** (проста ковзна середня (SMA), а також зважена ковзна середня (WMA) з періодом згладжування 2 та 5);

2) **згладжування методом Ірвіна**.

З метою перевірки адекватності застосовуваної методології, аби переконатися, що класичний варіант R/S-аналізу дає близькі до теоретичних результати, нами було згенеровано декілька масивів даних, які відповідають певним характеристикам рядів за такими методиками:

- 1) генерація випадкових даних;
- 2) генерація штучного тренду (персистентного ряду);
- 3) генерація штучного антиперсистентного ряду;
- 4) генерація змішаних даних.

Суть методик генерації та їхню послідовність наведено в таблиці 2.

За результатами застосування методик генерації на основі даних індексу Доу-Джонса можемо зробити висновок, що емпіричні значення показника Херста (див. таблицю 3) цілком відповідають теоретичним значенням (для штучно згенерованих даних) для кожного з аналізованих рядів даних.

Упевнившись в адекватності обраної методології розрахунку показника Херста, проведемо ряд перевірок, використовуючи різні методи фільтрації.

<sup>8</sup> Цінові коливання, що виникають унаслідок ринкових дисбалансів або проявів неефективності ринку.

Таблиця 2. Пропоновані методики генерації штучних даних для перевірки розрахунку показника Херста

Назва	Суть	Послідовність
Генерація випадкових величин	Створення певного віртуального аналога ряду з відсутністю кореляції між змінами в значеннях ряду	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Генеруємо випадкову величину (<math>p_i</math>) в діапазоні від 0 до 1.</li> <li>2. Розраховується величина зміни штучного індексу (<math>\Delta_i</math>).</li> </ol> $\begin{cases} p_i > 0.5, & \Delta_i = 100 \times p_i \\ p_i \leq 0.5, & \Delta_i = -100 \times (1 - p_i). \end{cases}$ <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Обираємо базову константу (в нашому випадку це було 10 000), до якої додаємо отриману величину зміни індексу (<math>\Delta_i</math>). До отриманого значення додається наступна величина зміни індексу і т. д.</li> </ol> $\begin{cases} y_1 = 10\,000 + \Delta_1 \\ y_i = y_{i-1} + \Delta_i \end{cases} \quad i \in [1, n].$
Генерація персистентного ряду	Створення віртуального ряду, кореляція зміни значень якого є додатною	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Задаємо довільну лінійну зростаючу функцію виду <math>y = a \times x + b</math>.</li> <li>2. Змінюючи відповідно до зростання порядкового номера елемента в ряді величину <math>x</math>, отримуємо трендовий ряд.</li> </ol>
Генерація антиперсистентного ряду	Створення віртуального ряду, кореляція зміни значень якого є від’ємною	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Генеруємо випадкову величину в діапазоні від 0 до 1.</li> <li>2. Обираємо базову константу (в нашому випадку це було 10), до якої по черзі додаємо, а потім віднімаємо згенеровану випадкову величину (<math>p_i</math>). В результаті отримуємо величину часового ряду (<math>y_i</math>).</li> <li>3. Для непарних <math>i</math></li> </ol> $y_i = 10 + p_i \quad i \in [1, n].$ <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Для парних <math>i</math></li> </ol> $y_i = 10 - p_i \quad i \in [1, n].$
Генерація змішаного ряду	Створення віртуального ряду перемішаних даних	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Генеруємо випадкову величину (<math>p_i</math>) в діапазоні від 0 до 1 в інтервалі <math>i \in [1, n]</math> (стовпчик 1).</li> <li>2. Додаємо стовпчик 2 з даними (<math>y_i</math>), що необхідно перемішати.</li> <li>3. Додаємо “Автофільтр” (функція Excel) до отриманих діапазонів.</li> <li>4. Сортуємо за зростанням (спаданням) стовпчик із випадково згенерованими величинами. В результаті стовпчик 2 містить перемішані дані базового ряду (<math>y_i</math>).</li> </ol>

Базою для аналізу були дані українського індексу – UX за період із 2008-го до 2013 року. Усього часовий ряд включав 1300 значень.

У ролі контрольної групи були щоденні ціни на момент закриття торгів, тобто нефільтровані дані, а також ряд випадково згенерованих величин. Критерієм адекватності отриманих даних були значення показника Херста для перемішаних даних.

Першим етапом перевірки був візуальний аналіз рядів даних: нефільтрованих та фільтрованих за одним із пропонованих методів. Наприклад, результати такої перевірки за методом простої ковзної середньої (див. графік 1) свідчать, що принципово динаміка показників цінового ряду не змінюється в результаті фільтрації, втім рівень “шуму” стає значно меншим. З позиції фрактальної теорії візуально фрактальна розмірність зменшується.

Аби підтвердити, що реальні характеристики цінового ряду не змінюються і ми лише нейтралізуємо зайві “шуми”, нами було проведено аналіз фільтрації випадково згенерованих величин. Відповідно до теорії фрактальна розмірність випадково генерованого ряду не має принципово змінюватися від використання процедур фільтрації. Проте візуальний аналіз (див. графік 2) засвідчив, що випадковий ряд теж зменшує фрактальну розмірність у результаті фільтрації.

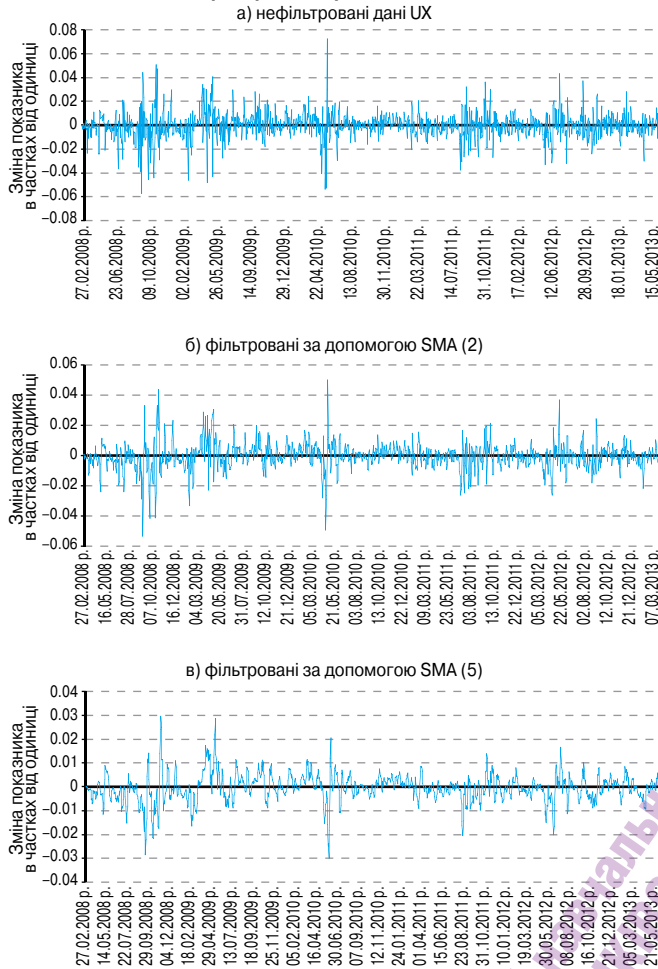
Аналогічну візуалізацію було проведено і для інших методів фільтрації даних. При цьому отримані висновки тотожні отриманим на основі методу SMA.

Для того, щоб підтвердити візуальний аналіз конкретними числовими характеристиками, нами було розраховано значення показника Херста для кожного з варіантів фільтрації (див. таблицю 4).

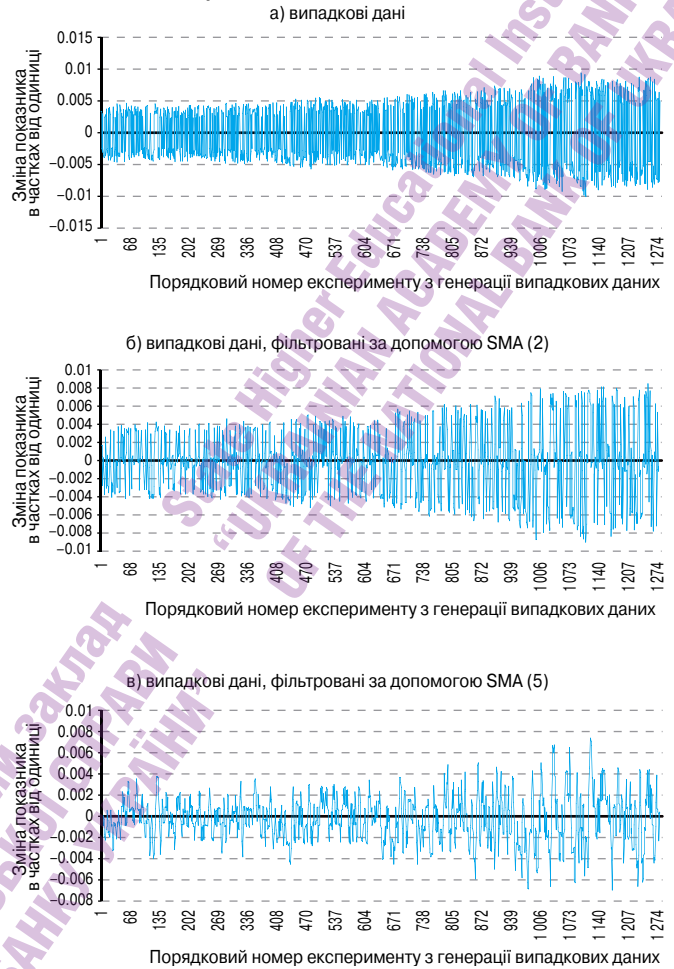
Таблиця 3. Результати розрахунку експоненти Херста для різних типів даних

	Випадкові	Персистентні	Антиперсистентні
Значення показника	0.51	0.99	0.08
Значення показника для перемішаних даних	0.53	0.5	0.54

Графік 1. Візуальна інтерпретація нефільтрованого та фільтрованих рядів даних SMA



Графік 2. Візуальна інтерпретація нефільтрованого та фільтрованих рядів випадкових даних SMA



Як засвідчив проведений аналіз, фільтрація базових даних призводить до штучного завищення значень показника Херста. Зі зростанням тривалості періоду усереднення (фактично це означає більший рівень фільтрації даних) відповідно зростає значення показника Херста.

Про штучність результатів свідчить динаміка показника Херста у випадку фільтрації випадкових величин. Якщо б фільтрація була адекватним методом підвищення якості базового ряду даних, то показник Херста, розрахований для ряду випадкових величин, не мав би автоматично та пропорційно збільшуватися відповідно до зростання тривалості періоду усереднення.

Таким чином загальний висновок щодо необхідності і доцільності фільтрації базових даних негативний. Тому гіпотезу про доцільність фільтрації даних вважаємо відкинутою. Надалі працюватимемо з оригінальними рядами даних та використовуватимемо класичний варіант R/S-аналізу. Методологія, що пропону-

ється нами для аналізу поведінки фінансових ринків, є не лише загальноприйнятною, але й такою, що дає змогу адекватно оцінити той чи інший ряд даних.

### ЕМПІРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОНДОВОГО РИНКУ УКРАЇНИ: ПЕРІОД КРИЗИ

Суттєвими аспектами при практичному розрахунку показника Херста є такі:

- вибір ринкових індикаторів – часових рядів для аналізу;
- вибір періоду дослідження та інтервалу для побудови графіка зворотного індикатора;

- інтерпретація результатів за період 2002–2007 рр. та під час останньої фінансової кризи.

Практичне втілення описаної методики здійснювалося на прикладі українського фондового ринку за період, що включає кризові явища. Вибір об'єкта дослідження та застосування методики не випадкові, оскільки фондовому ринку України, що входить до групи граничних ринків (frontier market), притаманні висока волатильність, брак ліквідності і рекордне падіння внаслідок кризи порівняно з іншими ринками групи.

З метою ілюстрації факту важливості обох гіпотез – ефективного та фрактального ринку – для пояс-

Таблиця 4. Значення показника Херста для різних варіантів фільтрації даних

	Нефільтровані	SMA (2)	SMA (5)	WMA (2)	WMA (5)	Irving (за методом Ірвінга)
Індекс UX	0.67	0.69	0.73	0.69	0.73	0.70
Перемішані дані індексу UX	0.54	0.53	0.54	0.52	0.53	0.49
Випадкові дані	0.51	0.56	0.63	0.55	0.61	0.52
Перемішані випадкові дані	0.53	0.52	0.51	0.51	0.51	0.54

нення поведінки фінансових ринків на різних етапах їхнього розвитку важливим є вибір періоду дослідження. Так, для забезпечення порівнянності даних необхідно провести розрахунки як за певний період функціонування фінансових ринків у цілому, так і в період кризових явищ.

Обрання періоду розрахунку показника Херста на основі даних українського фондового ринку необхідно проводити виважено з урахуванням того, що кризові явища в Україні фіксуються з лагом в один рік порівняно з періодизацією світової фінансової кризи (див. схему 4). Таким чином, відлік початку кризових явищ у фінансовій системі України загальноприйнято починають восени 2008 року. Свого піку проблеми у фінансовій системі сягнули у 2009 році та на початку 2010-го. Саме у цей період зафіксовані від'ємні показники темпів зростання ВВП України, найбільший спад становив  $-20.2\%$  порівняно з попереднім періодом (на 01.01.2009 р.). Цей показник зафіксовано в період націоналізації трьох проблемних банків: Укргазбанку, Родовід-банку та банку "Київ".

Поступове відновлення економіки України розпочалося в 2010 році – зростання ВВП за перші три квартали цього року становило  $4.7\%$ . Проте необхідно зауважити, що темпи його зростання у 2012–2013 рр. суттєво уповільнилися порівняно з докризовим періодом, а тому з метою забезпечення порівнянності даних нами було продовжено розрахунковий період до початку 2013 року.

Щодо вибору інтервалу графіків індексних коливань (5, 30, 60 хв.), один день, тиждень, місяць – у межах обраних періодів дослідження зупинимось на інтервалі в один день, оскільки, на нашу думку, цінні коливання такої розмірності найкраще відповідають цілям аналізу. При збільшенні частоти виникатимуть значні флуктуації фракталів, за її зменшення втрачається аналітичність даних.

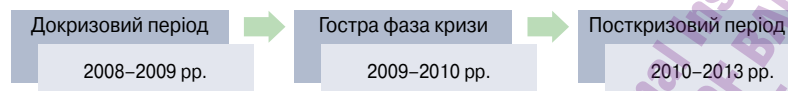
Описавши методологію дослідження, перейдемо до практичної інтерпретації його результатів.

Аналіз персистентності фондового ринку України проводився на прикладі двох основних індексів:  $UX^9$  (період 2008–2013 рр.) та ПФТС<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Український фондовий індекс за даними торгів Української біржі.

<sup>10</sup> Біржовий індекс, що розраховується на основі середньозваженої ціни за угодами за результатами торгів фондової біржі ПФТС.

Схема 4. Визначення періоду дослідження для розрахунку показника Херста в Україні у 2008–2013 рр.



(період 2001–2013 рр.), результати якого наведено в таблиці 5. При цьому необхідно зазначити, що нами було додатково проведено перевірку адекватності розрахунків для випадкових даних.

На основі отриманих результатів було зроблено висновок, що фондовий ринок України має ознаки персистентного ряду, а також йому притаманна довгострокова пам'ять. При цьому виконується критерій перевірки показника на штучно згенерованих випадкових даних.

Наступним етапом роботи став аналіз динаміки персистентності фондового ринку України під час світової фінансової кризи. Для цього нами було проведено розрахунки показників Херста на певному часовому інтервалі, на основі яких зроблено висновки про динаміку розвитку фондового ринку України.

Початковим етапом у цих розрахунках став вибір "вікна" даних – тобто періоду часу, впродовж якого розраховувалася контрольна точка значення показника Херста на певному часовому інтервалі.

У межах зазначеного періоду (2008–2013 рр.) та з урахуванням обраного часового інтервалу нами було обрано ряд із 300 точок, що еквівалентно майже півторарічному етапу реального часу.

Перша точка (показник Херста станом на 01.01.2007 р.) характеризує значення показника Херста, розрахованого на основі даних за період 01.06.2005 р. – 01.01.2007 р.

У цьому випадку інформаційною базою для розрахунку був ряд даних за індексом ПФТС. Цей вибір зумов-

лений наявністю статистичних даних, оскільки за індексом  $UX$  котирування наводяться лише з 2008 року.

Кожна наступна точка розраховувалася таким чином: базове "вікно" даних зміщувалося на  $n$  періодів уперед. За  $n$  нами було обрано 20 днів, що приблизно еквівалентно одному календарному місяцю роботи біржі. Це дає змогу забезпечити достатню кількість груп для обчислення показника Херста.

Отже, друга точка (умовно показник Херста станом на лютий 2007 року) розраховувалася на основі даних за період із 01.07.2005 р. до 01.02.2007 р.

У результаті досліджень нами було розраховано 50 контрольних точок, на базі яких побудовано графік динаміки зміни показника Херста (див. графік 3).

Порівнявши розраховані значення показника Херста та значення ВВП (динаміка якого є основним індикатором появи кризових явищ в економіці) за аналізований період, бачимо дві різновекторні тенденції:

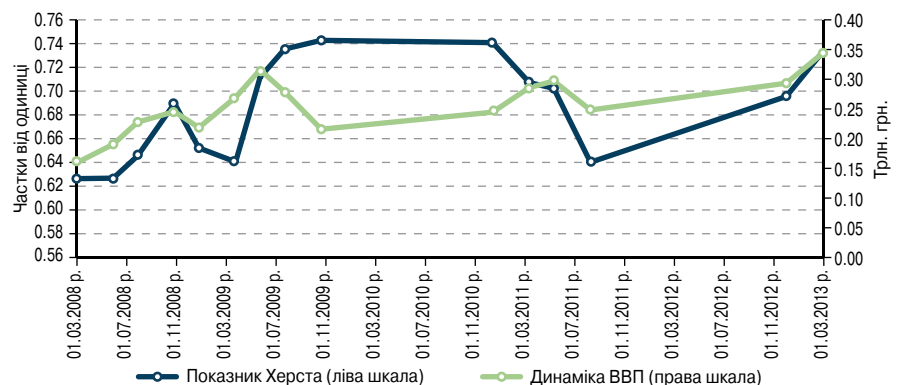
1) під час фінансової кризи обсяг ВВП постійно зменшувався, наприкінці 2009 року його мінімальне значення становило 0.189 трлн. грн.;

2) при цьому в період кризи рівень показника Херста перевищував

Таблиця 5. Результати аналізу персистентності фондового ринку України за 2001–2013 рр.

Показник	Фондовий індекс	
	ПФТС	UX
Значення показника Херста	0.665	0.667
Значення показника Херста для перемішаних даних	0.530	0.540

Графік 3. Показники Херста і динаміка ВВП в Україні у 2008–2013 рр.



контрольні 0.5 та становив 0.64–0.74 (див. графік 3).

У цьому випадку показник Херста засвідчує персистентність фінансового ринку України та можливість виникнення криз на ньому в майбутньому.

Результати порівняння показника Херста і динаміки ВВП засвідчують, по-перше, прогнозні властивості цього показника, що дають змогу використовувати його для передбачення кон'юнктури (напряму руху фондового ринку), і, по-друге, в ширшому сенсі, – для прогнозування макроекономічної кон'юнктури в цілому.

Щодо першого напряму прикладного застосування показника Херста для моделювання поведінки фондового ринку України варто зазначити, що отримані нами результати є підґрунтям для формування торговельних стратегій для учасників цього ринку. Як бачимо, відправною точкою для аналізу показника Херста є його значення в 0.63. Упродовж кризи значення показника перевищували 0.70 та наприкінці аналізованого періоду становили 0.73. Інтерпретація цих значень, крім персистентності ряду фінансових даних, засвідчує неефективність фондового ринку України і як наслідок – дає підтвердження дії фрактальної гіпотези для нього. Неефективність ринку, його трендовий характер, які проявляються в багатьох ринкових аномаліях, з позиції інтересів деяких його учасників можуть стати привабливими, адже дають змогу отримувати спекулятивні прибутки від торгівлі цінними паперами та деривативами. Тобто використання такого інструменту, як розрахунок показника Херста за допомогою методу R/S-аналізу, є, безумовно, корисним для створення індивідуальних стратегій трейдерів на фондовому ринку.

Щодо другого напряму використання показника Херста доцільно акцентувати увагу на оберненій залежності між показниками Херста і ВВП (див. графік 3). Ця залежність може бути використана при побудові систем раннього виявлення криз на фондовому ринку і стати в нагоді регуляторам при здійсненні макропроденційного нагляду та аналізу.

У цьому контексті вважаємо необхідним наголосити, що показник Херста може бути використаний як інструмент прогнозування очікувань інвесторів у цілому також на макрорівні. Тобто показник Херста може бути своєрідним індексом страху, що відображає поточний стан ринку, напрям його

розвитку в майбутньому і відповідний рівень невизначеності (волатильності). Тобто це індикатор настроїв інвесторів. Зростання індексу та показника Херста свідчить про збільшення неефективності ринку, песимізму його учасників, і навпаки, чим нижчими є індекс та показник, – тим більше ринок наближається до стану ефективного. За аналогією з відомими індексами “страху” (індекс волатильності Чиказької біржі VIX Chicago Board Options Exchange Market Volatility Index (S&P 500), індекси VXN CBOE NASDAQ-100 Volatility Index (Nasdaq 100), VXD DJIA Volatility Index (Dow Jones Industrial Average), індекси волатильності біржі Euronext AEX, BEL 20 та CAC 40, російським індексом волатильності RTSV) показник Херста може виконувати допоміжну роль у прогнозуванні динаміки фондового ринку України, де поки що не використовується відповідний індекс.

## ВИСНОВКИ

В умовах поглиблення наслідків кризових явищ на фінансових ринках набувають актуальності питання аналізу і прогнозування динаміки цих ринків у цілому та передбачення загрози виникнення нових криз. У контексті пошуку альтернативних концепцій функціонування фінансових ринків на протипагу гіпотезі ефективного ринку в посткризовий період значного поширення набуває гіпотеза фрактального ринку, що дає змогу оперувати новими категоріями і використовувати для моделювання поведінки ринкових індикаторів властивість їх довготривалої пам'яті – так звану персистентність. Ключовим показником для її оцінювання є показник Херста, найпріоритетнішим методом розрахунку якого для цілей дослідження було обрано R/S-аналіз. Модифікація методології R/S-аналізу шляхом застосування різних способів фільтрації вихідних даних та їх поділу на некротну кількість груп дала змогу отримати такі результати: ці модифікації штучно завищують значення показника Херста, розраховані для відповідних рядів зі штучно перемішаними даними (наближеними до випадкових).

За результатами аналізу на основі індексів ПФТС та UX українського фондового ринку в кризовий період 2007–2010 рр. було доведено його персистентність і можливість виникнення криз у майбутньому.

Отримані результати обґрунтовують застосування фрактальної гіпотези ринку як підґрунтя для моделювання поведінки фондового ринку України, а також показника Херста для прогнозування напряму його розвитку, що має прикладне застосування як на мікрорівні (окремими учасниками ринку), так і на макрорівні (його регуляторами).

## Література

1. Fama E. *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Evidence* // *The Journal of Finance*. – 1970. – № 25. – P. 383–417.
2. Hurst H. E. *Long-term storage capacity of reservoirs*. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. – 1951. – Volume 116. – 799 p.
3. Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W.H. Freeman, 1982. – 460 p.
4. Peters Edgar E. *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics* / Edgar E. Peters – NY.: John Wiley & Sons, 1994. – 336 p.
5. Гачков А. А. Рандомизированный алгоритм R/S-анализа финансовых рядов. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.math.spbu.ru/user/gran/soi5/Gatchkov5.pdf>.
6. Ларин В. Г. *Волатильность российского и зарубежного фондовых рынков: сравнение и анализ: автореф. дис. на сниск. учен. степ. канд. экон. наук: спец.: 08.00.10 – Финансы, денежное обращение и кредит 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики* / Ларин В. Г. – М.: Центр институтов взаимодействия государства и экономики Российской академии наук РАН, 2009. – 27 с.
7. Мандельброт Б., Хадсон Р. (He) *послушне рынки. Фрактальная революция в финансах*. – Изд.: Вильямс. – 2006. – 400 с.
8. Сохацька О. М. *Використання фракталів у технічному аналізі ринку FOREX* / О.М.Сохацька, І.І.Роговська-Лицук // *Вісник Української академії банківської справи*. – 2005. – № 2. – С. 68–76.
9. Сохацька О. М. *Ф'ючерсні ринки: глобальні тенденції та становлення в Україні: автореф. дис. на здобуття наук ступеня доктора экон. наук: спец. 08.05.01 “Світове господарство і міжнародні економічні відносини”* / О.М.Сохацька. – Тернопіль, 2003. – 37 с.
10. Цветков И. В. *Фрактальный анализ и его применение к исследованию временных рядов*. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://russeca.kent.edu/SeminarTsvetkovRus.pdf>.