УДК 658.5.009.12

Т.О. Загорна

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНКУРЕНТНОГО ПРОЦЕСУ В ГАЛУЗІ: СИНТЕЗ ФРАКТАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПРОЦЕДУР

Статтю присвячено оцінюванню можливостей використання процедур фрактального аналізу в прогнозуванні конкурентного процесу в галузі. У роботі детально проаналізовано перспективність використання фрактальної статистики та геометрії фракталів в дослідженні складних явищ; наведено характеристику параметра «фрактальна розмірність», який дає можливість оцінити ступінь невизначеності в процесах конкурентної взаємодій (на рівні ринку) та ілюструє оцінку потенціалу мережевого розвитку (на рівні учасників конкуренції). Практика показує, що динаміка економічних процесів і явищ має нелінійний і найчастіше хаотичний характер. Теорія фракталів не тільки дає можливість виявити складний характер розвитку систем, взаємодій структурних елементів, але й враховує таку властивість ринку, як самоорганізація.

Ключові слова: *фрактальний аналіз, фрактальна статистика, геометрія фракталів, нелінійна динаміка, розвиток систем, самоорганізація.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Завдання дослідження конкурентних процесів та характеристик, що їх супроводжують, у сучасному форматі економічних досліджень пов'язане з проблемою *прогнозування* ситуації на конкурентному ринку. Надзвичайно сучасним напрямом досліджень конкуренції і конкурентоспроможності можна вважати безліч досліджень у рамках діагностики конкурентного середовища і конкурентоспроможності. Однак ми повинні констатувати дуже низький рівень розробок саме в частині динамічних досліджень конкуренції на ринку, що вказує на статичний характер отриманих оцінок, результатів і, отже, не дозволяє перейти до комплексної діагностики конкурентного процесу в галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стратегічні рішення суб'єктів ринку, що приймаються в сучасних умовах конкурентного тиску, залежать від безлічі взаємодіючих факторів різної природи, що породжують флуктуації процесів «кооперації/розділення». Конкурентні сили, що впливають на становлення, функціонування і розвиток ринкових структур досліджено у працях Г.Л. Азоєва [1], Г.Л. Багієва [4], О.П. Градова [8], Р.А. Фатхутдінова [13], А.Ю. Юданова [15]. Інші дослідники [2; 5; 6; 12] наголошують на тому, що конкурентний процес характеризуються різноспрямованістю векторів дії, що істотно ускладнює завдання пошуку рівноважного, стійкого стану ринкового середовища, адаптації ключових учасників.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Сучасна економічна теорія давно довела неспроможність і неадекватність традиційних лінійних моделей поведінки ринків. Практика показує, що динаміка економічних процесів і явищ має нелінійний і найчастіше хаотичний (непередбачуваний) характер. Це обумовлює необхідність пошуку альтернативних методів моделювання із застосуванням нестандартного математичного апарату. На сьогоднішній день існує досить багато напрямів у цій сфері економіко-математичної науки. При аналізі соціально-економічних процесів усе частіше застосовуються такі математичні засоби, як нечіткі методи, нейронні мережі, генетичні алгоритми тощо. Однак при аналізі ринкової динаміки жоден із цих методів не може врахувати таку властивість ринку, як самоорганізація. Цю проблему, на нашу думку, дозволяє вирішити *теорія фракталів*.

Постановка завдання. Мета дослідження – вдосконалити науково-методичний підхід до дослідження елементів, характеристик і фазових траєкторій конкурентного процесу в галузі шляхом застосування процедур фрактального аналізу.

Виклад основного матеріалу. Діагностика як сукупність аналітичних, оціночних і прогнозних процедур потребує розгляду процесу (у нашому випадку конкурентного) у динаміці, тому завдання зрушується у площину методів прогнозування конкурентоспроможності учасників ринку, прогнозування параметрів ринку та оцінки зміни його структурних характеристик. Методи прогнозування ринку в основному зводяться до прогнозування трендів. Такі прогнози відносно добре працюють за умов поступового розвитку ринку. Але вони взагалі не працюють при різких, раптових змінах, при наявності кризи в економіці або в так званих «точках фазового переходу» економіки, що виникають як відповідна реакція системи на інноваційні зміни. У цих випадках необхідні зовсім інші, альтернативні підходи до прогнозування. Математичне моделювання, взагалі, є альтернативою згаданим методам, оскільки може передбачати такого роду розвиток подій, більш того – математичне моделювання є єдино можливим способом оцінки внутрішньої динаміки поведінки економічних систем. У нашому випадку поставлено завдання синтезу математичних і діагностичних інструментів вивчення характеру конкурентного процесу в динаміці. Це дозволяє не тільки розгорнути методологічний бік вивчення конкурентного процесу на динамічній основі, але й стверджувати про необхідність вирішення завдання такого синтезу для вивчення *конкурентної динаміки*, як принципово нового напряму економічних досліджень.

На цій стадії вивчення проблемних сторін конкурентного процесу вважаємо за можливе виділити і коротко проаналізувати арсенал існуючих методів моделювання, які могли б у результаті синтезу сформувати цілісну картину конкурентної динаміки і базу зовсім нових, адаптивних інструментів розвитку підприємств з урахуванням вектора конкурентного процесу [9, с. 124–127].

Серйозною перешкодою для вибору моделі конкурентної динаміки ринку є існуюча невизначеність в оцінці загальних ринкових тенденцій і характеристик розвитку. На думку Д.Ю. Каталевського, «важко оцінити наслідки зрушення економічної парадигми, оскільки сьогодні економіка перебуває у своєрідній «точці біфуркації», з якої ця дисципліна вийде, якісно перетворившись» [10, с. 44]. Як відзначає Е. Бейнхокер, ми є свідками переходу «від традиційної економіки до економіки складності» [16, с. 119]. Багато дослідників [6, с. 37–44; 3, с. 124–128] протиставляють «традиційній економіці» економіку реальну і висувають на цій підставі гіпотезу фрактальних ринків, як модель, «що описує динаміку досліджуваних процесів, яка дозволяє виявити причинно-наслідковий зв'язок між економічними об'єктами і явищами, при наявності якого стає ясною природа поведінки досліджуваної системи» [11, с. 60–63].

Оскільки оточення суб'єктів ринку (наприклад, зовнішнє середовище, ринок, сегментна структура), яке також певною мірою самоорганізується, не забезпечує його автоматичну самоорганізацію, то для досягнення динамічної рівноваги необхідні певні параметри управління – атрактивні цілі, траєкторії руху, які можуть породжувати фрактали в економічних процесах.

Доцільність використання методів фрактального аналізу в дослідженні нелінійних процесів і явищ, що протікають в еволюціонуючих економічних системах, відзначена Б. Вільямсом [7, с. 155]: «енергія завжди слідує по шляху найменшого опору, подібно до річки, що прокладає свій шлях... шлях … визначається внутрішніми структурами, які, як правило, приховані від наших очей», проте «... невидима структура все ж таки може бути виявлена і ... змінена».

Фрактальний аналіз, за своєю суттю, є методом, заснованим на використанні принципу рекурсії: він виходить з припущення про наявність рекурсивного зв'язку в часовому ряді, що описує динаміку досліджуваних процесів, дозволяючи виявити причинно-наслідковий зв'язок між економічними об'єктами і явищами, за наявності якого стає ясна природа поведінки досліджуваної системи. На думку П. Андерсон «...часові ряди, які здаються випадковими, можуть насправді бути фракталами із самоспрямованими тенденціями...» [11, с. 60].

Необхідно відзначити, що процеси конкурентної динаміки в сучасних дослідженнях вивчено досить слабо, хоча на перспективність і затребуваність динамічних методів оцінки й аналізу конкурентоспроможності вказують провідні вітчизняні і російські вчені. Визначення фрактальної структури дозволяє знайти спосіб розуміння конкурентної поведінки суб'єктів ринку, побачити в ньому систему і порядок [7, с. 58]. Тим самим, фрактали, що виявляють основну структуру змін конкурентного середовища, дозволяють з достатньою точністю передбачати можливі тенденції розвитку конкуренції і вектор конкурентної динаміки. Таким чином, в аналізі часових рядів конкурентного розвитку (поки відкрите питання природи показників і критеріїв таких змін) фрактал є сигналом, що не запізнюється, а випереджає, проте прогнозувати конкурентну поведінку він може лише у вигляді деякої сукупності вірогідних траєкторій у просторі станів системи.

Як показали численні дослідження останніх десятиліть, реалізації більшості динамічних процесів, що спостерігаються у природі та техніці, мають фрактальну геометрію. Фрактальність означає самоподібність, тобто на різних масштабах часовий ряд зберігає свою структуру. Щоб показати самоподібність ряду, необхідно визначити показник H, названий *параметром Херста*, який є *ступенем самоподібності немарківського процесу (немáрківський процéс* – випадковий процес, еволюція якого після будь-якого заданого значення часу залежить від еволюції, що передувала цьому моменту часу; «майбутнє» немарківського процесу залежить від його «минулого»; немарківський процес – це випадковий процес із пам'яттю, при цьому, говорячи про пам'ять процесу, мається на увазі, що від характеру еволюції процесу в минулому залежать його статистичні характеристики в майбутньому*)*. Показник Херста H приймає значення від 0 до 1 і дозволяє провести відмінність між випадковими процесами з незалежними збільшеннями (при $H = 0{,}5$), зі статистично залежними значеннями, що виявляють так звану персистентну (підтримуючу) поведінку ($H > 0{,}5$), і зі статистично залежними значеннями, що показують антиперсистентну поведінку ($H < 0{,}5$).

Для оцінки параметра Херста існує безліч методів, досить повний огляд яких наведено у Clegg [17, с. 125–138]. Усе вищевказане привело до появи ряду моделей самоподібних стохастичних процесів. Слід зазначити відсутність універсальної моделі, яка могла б використовуватися для опису фрактальних процесів різної прикладної природи. Таким чином, розробка та удосконалення моделей процесів, що мають фрактальні властивості (у рамках даного дослідження – це процес конкурентної динаміки), є актуальною і важливою проблемою. Розглянемо способи оцінки фрактальної розмірності на підставі двох підходів: міри Мінковського і показника Херста, а також залежність цих оцінок. У рамках першого підходу основною характеристикою фрактального об'єкта є фрактальна розмірність:

$$D = \lim_{\delta \to o} \frac{\ln N(\delta)}{\ln\left(\frac{1}{\delta}\right)}, \tag{1}$$

де D – фрактальна розмірність; *δ – площа елементарного гнізда δ*; N – кількість періодів спостережень.

Відповідно, якщо досліджуваний об'єкт близький до фракталу, то залежність числа кубів $N(\delta)$, позичених об'єктом від розміру елементарного гнізда δ, буде зростати в ступеневій залежності.

Показник Херста розраховується згідно з моделлю:

$$H = \frac{\log\left(R/S\right)}{\log\left(aN\right)}, \tag{2}$$

де H – показник Херста; R – зміна відстаней конкурентних позицій за час T; S – середньоквадратичне відхилення ряду спостережень x_i; N – кількість періодів спостережень; $a = 1{,}5708$ (const).

При Н = 0,5 ринок виглядає, немов броунівський рух, абсолютно випадковий. Причому випадковість виявляється, навіть якщо ряд не є нормально розподіленим. Якщо показник Херста на конкретному ринку дорівнює 0,5, то це підтвердить *гіпотезу про ефективний ринок*. Однак практика показує, що такі ситуації є дуже рідкісними. Тобто ринок, якщо і є ефективним, то дуже рідко і, скоріше, випадково, ніж закономірно.

Для того, щоб з'ясувати залежність цих показників, необхідні такі пояснення. Так, фрактальну розмірність D (розмірність часового сліду – це оцінка ступеня ламаності ряду) визначають за такою формулою:

$$D = 2 - H, \tag{3}$$

де D – фрактальна розмірність; H – показник Херста.

Бенуа Мандельброт (Benoît B. Mandelbrot) у своїй праці [18] показав, що фрактальна розмірність є зворотною величиною від *H*. Наприклад, при H = 0,5 фрактальна розмірність дорівнює 2 (1/0,5), а при H = 0,8, фрактальна розмірність дорівнює 1,25 (1/0,8). Таким чином, фрактальну розмірність *A*, за Мандельбротом, (розмірність простору ймовірностей – оцінка товщини хвостів у функції щільності ймовірності) розраховують за формулою:

$$A = 1 / H, \tag{4}$$

де *A* – фрактальна розмірність, за Мандельбротом; *H* – показник Херста.

Показник Херста знаходиться в інтервалі від 0 до 1. Фрактальна розмірність, відповідно, від 1 до 2. Ілюструє характеристику цієї залежності табл. 1. Ми з'ясували, що для визначення фрактальної розмірності використовується метод *BoxCounting* (міра Мінковського). Але точність цього методу набагато менша, ніж точність аналізу нормованого розмаху. Останній момент потребує більш детального пояснення.

Таблиця 1

Зв'язок ключових оцінок фрактальної розмірності та показника Херста [14, 18]

Показник Херста (*H*)	*H = 0*	*H = 0,5*	*H = 1*
Фрактальна розмірність (*D*)	$D \approx 2$	*D = 1,5*	*D = 1*
Фрактальна розмірність (*A*)	$A \to \infty$	*A = 2,0*	*A = 1*
	Пряма лінія	Випадковий ряд	Нескінченний лінійний тренд

В основу розрахунків показника Херста покладено формулу з праці Енштейна щодо *броунівського руху* елементів:

$$R = \sqrt{T}, \tag{5}$$

де *R* – відстань, яка пройдена броунівською часткою за час *T*; *T* – показник часу.

Згідно з цією формулою броунівська частка просувалася на відстань, що дорівнює квадратному кореню часу, витраченому на це просування. При *H* = 0,5 система проходить за час *T* ту ж відстань, що й броунівська частка. При більших значеннях *H* система проходить більш значну відстань за той же час, що й броунівська частка. Розрахунки показника Херста можна здійснити за такою формулою:

$$R / S = (aN)^H \text{, звідки } H = \frac{\log(R / S)}{\log(an)}, \tag{6}$$

де *R* – відстань, яка пройдена броунівською часткою за час *T*;

N – кількість періодів спостережень; *a = 1,5708* (const);

H – показник Херста; *n* – кількість спостережень; *S* – середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - x_{cp})^2}, \tag{7}$$

де x_{cp} – середнє арифметичне спостережень за *N* періодів:

$$x_{cp} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i. \tag{8}$$

Розмах накопиченого відхилення R є найбільш важливим елементом формули розрахунку показника Херста. У загальному випадку його обчислюють за формулою:

$$R = \max_{1 \le u \le N}(Z_u) - \min_{1 \le u \le N}(Z_u), \qquad (9)$$

де Z_u – накопичене відхилення ряду x від середнього x_{cp}.

$$Z_u = \sum_{i=1}^{u}(x_i - x_{cp}). \qquad (10)$$

З формули розрахунку показника Херста виходить, що на його зростання впливають збільшення розмаху коливань R (у нашому випадку – нестійкість конкурентних позицій), зменшення середньоквадратичного відхилення S і зменшення кількості спостережень N.

Для аналізу випадкових блукань Херст запропонував використовувати таку залежність (розрахунки нормованого розмаху R/S):

$$R / S = \sqrt{\frac{N\pi}{2}}. \qquad (11)$$

Тому першим етапом процедури моделювання є визначення показника Херста та встановлення на основі нього фрактальної розмірності. Залежність тут однозначна, тому такий підхід більш точний.

Наступним етапом запропонованого алгоритму є завдання переходу від базових (традиційних) оцінок досліджуваних об'єктів (мережевих операторів) до фрактальної розмірності. Для цього пропонується впорядкувати досліджувані об'єкти таким чином: найслабкіші гравці отримують значення показника Херста 0,1, найбільш сильні – 0,9. Економічна інтерпретація в цьому випадку стосується виключно характеру конкуренції та рівня конкурентних переваг учасників. Слабка позиція (малий показник Херста) вказує на локальний або зональний характер конкуренції. Зіставлення із сильним гравцем свідчить не на користь локального оператора, перш за все, тому, що обсяг продажів та ефективність роботи комерційної структури менша, ніж у конкурентів. Але цей етап моделювання не дозволяє перейти від статики до динаміки, тому що оцінки відображають просторовий аспект конкуренції. Для того, щоб перейти до динаміки ми використовуємо саме фрактали, але робимо це шляхом привласнення мережевому операторові певного значення показника Херста залежно від його місця у списку. Показник Херста теж статичний. Але на його основі ми можемо отримати динаміку за допомогою генерації часових рядів.

Алгоритм генерації часових рядів може бути реалізований такими засобами: алгоритм Федера [14], послідовні випадкові додавання (*алгоритм Фосса*) та метод вейвлет-аналізу. На практиці броунівський рух спостерігається з кінцевим розв'язанням, тому необхідно розглянути випадок, коли реалізація процесу реєструється через кожний проміжок часу $b{\cdot}(\tau)$, де b – деяке вільне число. У такому разі приріст ξ дорівнює сумі b незалежних приростів. Броунівський випадковий процес інваріантний в сенсі розподілу при перетворенні, яке змінює масштаб часу в b разів, а масштаб довжини в $b1/2$ разів. Перетворення, які змінюють масштаби часу і відстані в різних пропорціях, називаються афінними, а залежності, які зберігають свій вигляд при афінному перетворенні, називаються самоафінними. Накопичене відхилення *x(t)* – випадкова функція часу *t*. Р. Вінер таким чином увів випадкову функцію, що описує броунівський рух. Розглянемо стандартний гаусівський випадковий процес із незалежними значеннями $\{\xi\}$. Нехай приріст координати броунівської частинки визначається виразом:

$$x(t)-x(t_0)\approx \xi\left|t-t_0\right|^H \quad (t\ge t_0) \tag{12}$$

для будь-якої пари моментів часу *t* і t_0. Тут $H = 0,5$ для звичайного броунівського руху.

Співвідношення (12) служить визначенням випадкової функції і застосовується у момент t_0 незалежно від того, відомі значення *x(t)* у більш ранні моменти часу $t < t_0$ чи ні. Маючи визначення, виражене цим співвідношенням, можна знайти координату *x(t)* за координатою $x(t_0)$, вибираючи випадкове число ξ з гаусівського розподілу, помножуючи його на деяку міру приросту часу $\left|t-t_0\right|$ і складаючи результат з відомою координатою $x(t_0)$. Ця процедура застосовується і при $t < t_0$. Функція, що визначається цим співвідношенням, безперервна, але вона не має похідних.

Перетворена змінна *x*, яка визначається виразом:

$$x=\frac{x(t)-x(t_0)}{\left(\dfrac{\left|t-t_0\right|}{\tau}\right)^H}, \tag{13}$$

при всіх *t* і t_0 має гаусівський розподіл вірогідності:

$$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-\left(\frac{1}{2}x^2\right)} \tag{14}$$

з нульовим середнім значенням і одиничною дисперсією.

Поняття узагальненого броунівського руху введене Мандельбротом через узагальнення випадкової функції *x(t)* шляхом заміни показника $H = 0,5$ на будь-яке дійсне число з інтервалу $0 < H < 1$; результат узагальнення позначається $B_H(t)$. Щоб глибше зрозуміти природу узагальненого броунівського руху, необхідно реалізувати цей процес за допомогою чисельного моделювання та отримати результати у вигляді графіків приросту фрактальної броунівської функції і безпосередньо броунівської функції $B_H(t)$, яка в рамках дослідження, що проводиться, ілюструватиме мережеву поведінку учасників конкурентної боротьби.

Б. Мандельброт і В. Несс визначили випадкову функцію $B_H(t)$ з нульовим середнім таким чином:

$$B_H(t)=\frac{1}{\Gamma(H+\frac{1}{2})}\int_{-\infty}^{t}(t-t')^{H-1/2}\,dB(t'), \tag{15}$$

де $\Gamma(x)$ – гамма-функція.

Згідно з цим виразом, значення випадкової функції у момент *t* залежить від всіх попередніх (у моменти $t' < t$) приростів *dB(t')* звичайного гаусівського випадкового процесу *B(t)* з нульовим середнім і одиничною дисперсією. Позначення $dB(t)$ для випадкової змінної стає зрозумілим, якщо спробувати обчислити інтеграл, замінивши його сумою. З тим щоб апроксимувати інтеграл, оберемо одиницю вимірювань часу так, щоб t приймало цілочисельні значення, і розділимо кожен одиничний інтервал часу на n малих часових кроків. Тоді змінну інтеграції можна записати як $t' = i \cdot n$, де $i = -\infty, \ldots, -2/n, -1/n, 0, 1/n, \ldots, t/n$. Приріст $dB(t')$ початкового гаусівського процесу з незалежними значеннями можна тепер записати у вигляді $n^{-1/2} \cdot \xi_i$, де тепер ξ_i – дискретна гаусова випадкова змінна з нульовим середнім і одиничною дисперсією. Множник $n^{-1/2}$ перед ξ враховує перенормування броунівських приростів при зменшенні кроку за часом. Отже, отримуємо такий наближений вираз для визначення фрактальної броунівської функції:

$$B_H(t) = \frac{1}{\Gamma\left(H + \frac{1}{2}\right)} \sum_{i=-\infty}^{nt} \left(t - \frac{i}{n}\right)^{H-1/2} n^{-1/2} \xi_i \,. \tag{16}$$

Проте дискретний аналог $B_H(t)$, що визначається співвідношенням (5.16), необхідно модифікувати. Для розрахунку інтеграла розіб'ємо кожен крок на n інтервалів і отримаємо такий вираз:

$$B_H(t) - B_H(t-1) = \frac{1}{\Gamma\left(H + \frac{1}{2}\right)} \sum_{i=n(t-M)}^{nt} K\left(t - \frac{1}{n}\right) n^{-1/2} \xi_i \,. \tag{17}$$

Тут $\{ \xi_i \}$ з $i = 1, 2 \ldots, M \ldots$ є набором гаусових випадкових чисел з одиничною дисперсією і нульовим середнім. Ядро K є модифікованим ядром і визначається виразом:

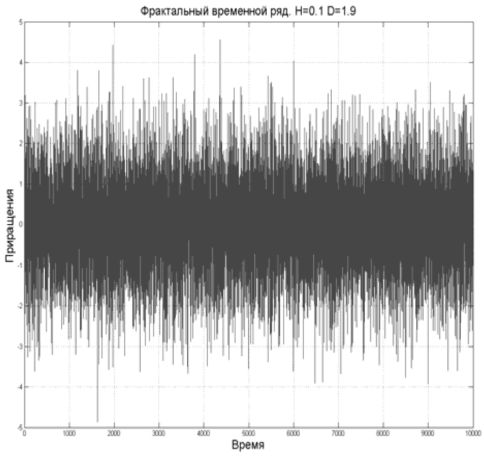
$$K(t - t') = \left\{ \begin{matrix} (t - t')^{H-1/2} & 0 \le t' \le t \\ (t - t')^{H-1/2} - (-t')^{H-1/2} & t' \le 0 \end{matrix} \right\}. \tag{18}$$

Змінивши індекс підсумовування і перегрупувавши члени в сумі, отримаємо такий вираз для дискретних приростів при узагальненому броунівському русі:

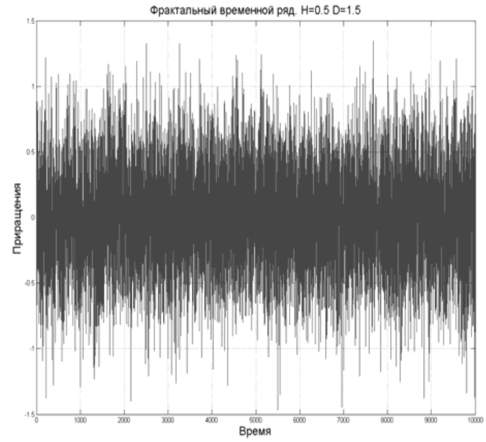
$$B_H(t) - B_H(t-1) = \frac{n^{-H}}{\Gamma\left(H + \frac{1}{2}\right)} \left\{ \sum_{i=1}^{nt} (i)^{H-1/2} \xi_{(1+n(M+1)-i} + \sum_{i=1}^{n(M-1)} ((n+i)^{H-1/2} - (i)^{H-1/2} \xi_{(1+n(M-1+t)-i)}) \right\} \cdot \tag{19}$$

Користуючись цим співвідношенням, за послідовністю гаусівських випадкових чисел можна скласти послідовність приростів B_H (див. рис. 1).

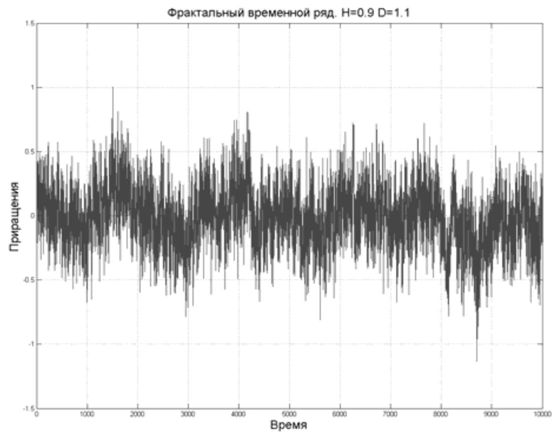
На рис. 1 приведено фрактальний шум, отриманий за розглянутим алгоритмом, тобто прирости B_H, які визначені як різниця $\Delta B_H(t) = B_{H(t)} - B_{H(t-1)}$. Для звичайних броунівських приростів $H = 0,5$ отримуваний шум є гаусівським процесом з незалежними значеннями, який зазвичай називають *білим шумом*. Фрактальні шуми, що відповідають $H = 0,1$, характеризуються як високочастотні, а ті, що відповідають $H = 0,9$ – як низькочастотні.



А) Діяльність оператора з низьким рівнем мережевого потенціалу (високочастотний шум) $\Delta B_1(t)=\Delta B_{0,1}(t)$ – фрактальні прирости при $H=0,1$



Б) Діяльність оператора із середнім рівнем мережевого потенціалу (білий шум) $\Delta B_2(t)=\Delta B_{0,5}(t)$ – звичайні броунівські прирости при $H=0,5$



В) Діяльність сильного мережевого оператора (низькочастотний шум) $\Delta B_3(t)=\Delta B_{0,9}(t)$ – фрактальні прирости при $H=0,9$

Рис. 1. Прирости фрактальної броунівської функції (*Fractal Brownian Motion*) B_H, розраховані при різних значеннях показника Херста (*H*)

Окрім наведеного вище алгоритму, одним з найбільш використовуваних на практиці методів моделювання *Fractal Brownian Motion* є *метод* послідовних випадкових підсумовувань *Фосса*. Метод включає такий покроковий алгоритм [18]. Початкові значення координат $X(t_i)$ в моменти часу $t_i = 0,1/2,1$ дорівнюють нулю. На першому кроці до значень координат $X(t_1)$, $X(t_2)$, $X(t_3)$ додаються випадкові числа, вибрані з нормального розподілу з нульовим середнім і початковою дисперсією $2\sigma_1$. Середні значення часу на кожному інтервалі розглядаються як додаткові вузли на осі часу; значення координати в них оцінюються інтерполяцією. На наступному кроці до всіх координат $X(t_i)$, ($t_i=0,1/4,1/2,3/4,1$) додаються випадкові числа з нульовим середнім значенням і зменшеною дисперсією:

$$\sigma_2^2 = \frac{\sigma_1^2}{2^{2H}}. \tag{20}$$

На *n*-му кроці алгоритму ми отримуємо значення реалізації *Fractal Brownian Motion* для (*1+2n)* значень часу t_i. Дисперсія залишків *n*-го покоління дорівнює:

$$\sigma_n^2 = \frac{\sigma_{n-1}^2}{2^{2H}} = \frac{\sigma_0^2}{2^{2Hn}}. \tag{21}$$

Процес, запропонований Фоссом, приводить до узагальненого броунівського руху при будь-якому розв'язанні, проте недостатньо точно відображає комплексний вплив інших факторів, які у фрактальних рядах набули назви «товсті хвости».

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналіз теоретичних підходів до управління конкурентними перевагами підприємств дозволив виділити *гіпотезу фрактальних ринків* як теоретичну передумову розробки діагностичного інструментарію динамічних методів у конкуренції. Авторська модель дослідження конкурентного процесу в галузі базується на принципах поведінкового підходу до характеру конкуренції та відображає тезу про те, що конкурентні позиції учасників можуть згодом як підсилюватися, так і зменшуватися – цей момент і відображає сутність динаміки конкуренції на галузевому рівні. У нашому випадку таку зміну ілюструє поведінка броунівської частки згідно з функцією поведінки *Fractal Brownian Motion* (FBM).

Отже, чим менше фрактальна розмірність, тим менше невизначеність і тим швидше компанія йде до реалізації стратегічних цілей розширення присутності на ринку. Таким чином, в роботі встановлено залежність між рівнем невизначеності в конкурентному середовищі та параметрами її оцінки за допомогою теорії фракталів. Це дає можливість перейти безпосередньо до кількісних параметрів оцінки конкурентної динаміки ринку, а саме оцінки параметра Херста (Н), генерації часового ряду зміни конкурентних позицій з використанням вейвлет-аналізу.

Список використаних джерел

1. Азоев Г.Л. Конкурентные преимущества фирмы / Г.Л. Азоев, А.Л. Челенков. – М.: Новости, 2000. – 256 с.

2. Алабугин А.А. Формирование адаптационного механизма конкурентоспособного предприятия / А.А. Алабугин // Проблемы современной экономики [Евразийский международный научно-аналитический журнал]. – 2004. – № 2. – С. 106–108.

3. Астраханцева А.И. Основные принципы фрактальной теории управления стоимостью компании / А.И. Астраханцева // Экономика и управление. Экономические науки. – 2010. – 2 (63). – С. 124–128.

4. Багиев Г.Л. Стратегии развития инструментов коммерции: монография / Г.Л. Багиев. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 459 с.

5. Баев И.А. Показатели стоимости бизнеса в оценке эффективности инновационных проектов / И.А. Баев, Н.В. Субботина // Вестник Южно-Уральского гос-го ун-та. Серия «Экономика». – 2006. – № 12 (67). – Вып. 6. – С. 372–377.

6. Вайсман Е.Д. Управление конкурентоспособностью предприятия на основе упреждающего решения / Е.Д. Вайсман // Вестник гос-го ун-та управ-ния. – М.: ИД ГУУ. – 2010. – С. 37–44.

7. Вильямс Б. Торговый хаос: Экспертные методики максимизации прибыли / Б. Вильямс. – М.: ИК Аналитика, 2000. – 328 с.

8. Градов А.П. Стратегия и тактика антикризисного управления фирмой: учеб. пособие / А.П. Градов. – СПб.: Спец. лит., 1996. – 510 с.

9. Загорная Т.О. Моделирование конкурентных характеристик рынка: проблематика, синтез и перспективы / Т.О. Загорная // Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (11–12 квітня 2013 р.). – Х.: ФОП Александрова К.М., ВД «ІНЖЕК», 2013. – С. 124–127.

10. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие / Д.Ю. Каталевский. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. – 312 с.

11. Круковский Я.В. Применение нейросетевых технологий в анализе показателей состояния предприятия / Я.В. Круковский // Омский научный вестник. – Изд. ОмГТУ, 1999. – № 7. – С. 60–63.

12. Тарануха Ю.В. Теория отраслевых рынков (в структурно-логических схемах): учебно-метод. пос. / Ю.В. Тарануха. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело и Сервис, 2009. – 298 с. – (Серия: Учебники МГУ им. М.В. Ломоносова).

13. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность организаций в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент / Р.А. Фатхутдинов. – М.: Маркетинг, 2002. – 458 с.

14. Федер Е. Фракталы / Е. Федер; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

15. Юданов А.Ю. Конкуренция: теория и практика: учеб.-практ. пособ. / А.Ю. Юданов. – М.: Экмос, 1998. – 365 с.

16. Beinhocker, Eric D. The Origin of Wealth: Evolution, Complexity and the Radical Remarking of Economics / Eric D. Beinhocker. – Random: House Business Book, 2007. – 197 p.

17. Clegg R.G. A practical guide to measuring the hurst parameter / R.G. Clegg // Computing science technical report. – 2005. – № CS–TR–916. – P. 125–138.

18. Mandelbrot B. Statistical Methodology for Non-Periodic Cycles: From the Covariance to R/S Analysis / B. Mandelbrot // Annals of Economic Social Measurement. – 1972. – № 1. – P. 159–175.

Статья посвящена оценке возможностей использования процедур фрактального анализа в прогнозировании конкурентного процесса в отрасли. В работе подробно проанализирована перспективность использования фрактальной статистики и геометрии фракталов в исследовании сложных явлений; дана характеристика параметра «фрактальная размерность», который дает возможность оценить степень неопределенности в процессах конкурентных взаимодействий (на уровне рынка) и иллюстрирует оценку потенциала сетевого развития (на уровне участников конкуренции). Практика показывает, что динамика экономических процессов и явлений носит нелинейный и зачастую хаотический характер. Теория фракталов не только позволяет выявить сложный характер развития систем, взаимодействий структурных элементов, но и учитывает такое свойство рынка, как самоорганизация.

Ключевые слова: *фрактальный анализ, фрактальная статистика, геометрия фракталов, нелинейная динамика, развитие систем, самоорганизация.*

The article is devoted to the evaluation possibilities of using fractal analysis procedures in predicting the competitive process in the industry. In this paper, a detailed analysis of prospects of using fractal statistics and fractal geometry in the study of complex phenomena; the characteristic parameter «fractal dimension», which makes it possible to assess the degree of uncertainty in the process of competitive interactions (at the market) and illustrates the evaluation of the potential of the network (at the level of competition participants). Practice shows that the economic processes and phenomena is not linear and often chaotic. The theory of fractals not only makes it possible to reveal the complex nature of the systems, interactions of structural elements, but also allows for a property market as self-organization.

Key words: *fractal analysis, fractal statistics, geometry of fractals, nonlinear dynamics, development systems, self-organization*

Одержано 2.10.2014.