

УДК 330.4:005.336.4

Іванова В.Б.

асистент кафедри

економічної кібернетики і управління економічною безпекою
Харківського національного університету радіоелектроніки

ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКАЗНИКА ІННОВАЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

У статті досліджено фрактальні властивості показника інноваційної активності промислових підприємств України. Виявлено «ківшеподібність» його поведінки. За допомогою R/S-аналізу доведено відсутність впливу випадкових чинників. Встановлено факти фрактальної трендовості і пластичності. За умови зменшення розміру інтервалу аналізу з 19 до 15 років (1996–2015 до 2001–2015 рр.) показник Херста збільшувався поступово. Потім – хвилеподібно.

Ключові слова: інноваційний ківш, фрактал, показник Херста, фрактальна поведінка, інноваційна активність.

Иванова В.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОКАЗАТЕЛЯ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ

В статье исследованы фрактальные свойства показателя инновационной активности промышленных предприятий Украины. Обнаружена «ковшеподобность» его поведения. С помощью R/S-анализа доказано отсутствие влияния случайных факторов. Установлены факты фрактальной трендовости и пластичности. При уменьшении размера интервала анализа с 19 до 15 лет (1996–2015 до 2001–2015 гг.) показатель Херста увеличивался постепенно. Потом – волнообразно.

Ключевые слова: инновационный «ковш», фрактал, показатель Херста, фрактальное поведение, инновационная активность.

Ivanova V.B. STUDY OF FRACTAL PROPERTIES OF INDICATORS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES' INNOVATIVE ACTIVITY IN UKRAINE

The article is devoted to the study of the fractal properties of factor of innovative activity of Ukrainian enterprises. The factor' "concave shaped" behavior was detected. The absence of the influence of random factors was proved with the help of R/S-analysis. The facts of fractal trends and plasticity were found. When reducing the size of the analyzed interval from 19 to 15 years (1996–2015 to 2001–2015) Hurst coefficient increased gradually and then wavy.

Keywords: innovative "concave", fractal, Hurst coefficient, fractal behavior, innovative activity.

Постановка проблеми. Протиріччя між наявністю значного інтелектуального потенціалу і труднощами використання інноваційної складової в забезпеченні необхідного рівня економічного розвитку України є рушійним важелем, який необхідно застосувати до реалій української економіки. Дослідження фрактальних властивостей інноваційного ринку України є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить визначити реальний стан економіки і можливі напрями його покращення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема з'ясування фрактальних особливостей ринку інновацій розкрита не досить повно [1; 2; 3]. Багатовекторність досліджень інвестиційно-інноваційної діяльності у просторі і часі потребує залучення адекватного інструментарію [4]. Одним із перспективних є інструментарій фрактального аналізу [2; 5].

Ю. Барташевська й А. Яворська розглядають теоретичні та практичні аспекти застосування фрактального аналізу як одного з основних методів аналізу фінансових ринків у періоди інтенсивних коливань ринку [6]. Розглянуто можливості застосування фрактального аналізу, основні методи дослідження та алгоритм R/S-аналізу. Розраховано показник Херста для досліджуваних підприємств та зроблено висновки про ризикованість їхніх активів.

Г. Тур і О. Трунова аналізують проблему використання сучасних методів аналізу ринкової динаміки [7]. Зокрема, визначено, що жоден із них не може врахувати таку властивість ринку, як самоорганізація. Обґрунтовано вибір теорії фракталів для вирішення цієї проблеми, акцентовано увагу на тому, що метод фрактального аналізу доцільно застосовувати в дослідженнях, прогнозуванні та оцінці ступеня стабільності економічних систем. Безпосередньо розглянута методика використання фрактального ана-

лізу для визначення трендових характеристик економічних показників. Наведено алгоритми розрахунку показника Херста для динамічних рядів із різною розмірністю для невеликих масивів даних, а саме нормованого розмаху (R/S-аналіз). Для випадку, коли обсяг вибірки становить значну величину, пропонують використовувати модифікацію алгоритму розрахунку показника Херста. Залежно від діапазону, до якого належать значення показника Херста, виділено три основні ознаки часового ряду. Для характеристики динаміки розглянуто такі властивості, як персистентність, антиперсистентність, циклічність. Запропоновані найперспективніші, з погляду прикладних досліджень в економіці, сучасні математичні моделі фракталів, статична – Мандельброта та динамічна – Джулії [7, с. 255–256].

І. Чайковська аналізує часові ряди впровадження інновацій на промислових підприємствах (на прикладі Хмельницької області) [2]. За допомогою R/S-аналізу та критерію Херста визначено класифікацію часових рядів. Виявлено основні тенденції розвитку інноваційних процесів і здійснено прогноз інноваційної діяльності підприємств [2, с. 65–68].

В. Дубницький пропонує спосіб визначення мінімальної довжини ряду спостережень, необхідного для обчислення показника Херста, та визначення на цій основі методу прогнозування вартості цінних паперів [8].

Узагальнювальним розповсюдженням фрактальних методів присвячена стаття Б. Новікової [9]. Вона наголошує про необхідність створення фрактальних виробничих систем. Це є головним доказом на користь використання фрактального підходу під час вирішення завдань формування інноваційних систем і кластерів у масштабах підприємства, бізнес-групи, кластера і регіону, оскільки створена у форматі

фрактальної економічно-мінімальної виробничої системи, може розвиватися як інноваційно-орієнтована і забезпечувати тим самим відтворення відпрацьованих у ній інноваційних практик у виробничих системах вищого рівня [9, с. 163].

Метою статті є виявлення особливостей фрактальної поведінки показника інноваційної активності промислових підприємств України.

Виклад основного матеріалу. Ринок інновацій, за означенням С. Светуцького і Р. Ішутіна, це ринок на якому первинний товар у формі ідеї про нововведення в ході просування від власника товару до його кінцевого споживача змінює свою форму, набуваючи нових споживчих властивостей і матеріалізуючись у продукт, придатний до використання у виробничстві [10]. Наведене визначення має маркетингові риси, може бути розкрито і доповнене відповідно до мети дослідження.

Принципова відмінність ринку інновацій від інших ринків полягає в тому, що сам товар на кожному етапі ринкових взаємодій зазнає змін за формою і за змістом. Тому, розглядаючи роль кожного учасника ринку інновацій, необхідно мати на увазі цю обставину.

Ринок інновацій починається з нової ідеї, яка націлена на поліпшення деякого процесу або об'єкту – предмета людської діяльності. Опускаючи все різноманіття видів інноваційних ідей, можна обмежитися лише тим, що в кожній ідеї є автор, що добре розбирається в проблемах відповідної галузі людської діяльності, на вдосконалення якої і направлено його пропозицію.

Нова ідея, якою б геніальною вона не була, так і залишиться ідеєю, якщо вона не буде вміщена до господарського обігу, що перетворює її на кінцевий продукт. Ідея, що є формою матерії, належить до її інформаційного зображення. Інформація, як відомо, може бути зафіксована в певних кодах. У господарській діяльності інформація про нововведення фіксується у вигляді спеціального свідоцтва або патенту, що закріплює право власності автора ідеї на цю ідею. Саме в цей момент і виникає інновація як товар. Необхідно мати на увазі, що в процесі перетворення інновації в товар безпосередню участь беруть підприємства.

Уявлення про фрактал, як форму опису економічних явищ, реалізацій економічних відносин, що відбуваються в економічному просторі й економічному часі, слід зосередити на властивостях самоподібності (масштабно-інваріантності, автосиметрії), тобто влаштованості їх частин як цілого. Наприклад, наявність (свого) інноваційного «квіша» для кожного періоду правління відповідної влади (впро-

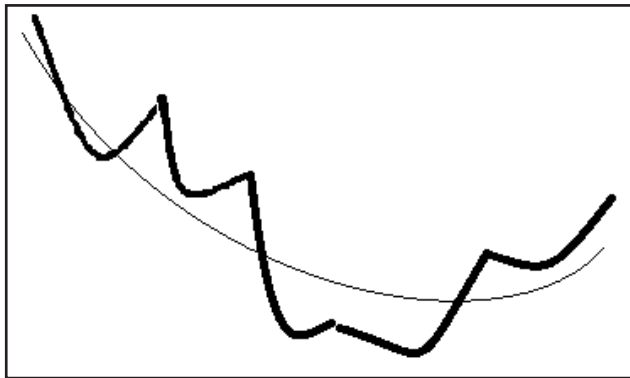


Рис. 1. «Квішоподібність» інноваційного розвитку

Джерело: авторська розробка

довж 5–6 років) і формування (великого) інноваційного «квіша» (інтервалом 25–30 років) виявляються характерними для України (рис. 1).

Фрактали повторюються за формою, з'єднуються разом, утворюючи при цьому фрактали більш складної форми, які утворюють моделі ще більшого порядку [3, с. 23].

Замість традиційних координат (абсцис і ординат) можлива побудова фрактальних діаграм, які представляють загальну конкурентну й інноваційну поведінку суб'єктів ринку, а не показують її абсолютне значення в певний момент часу. Це і є її головною перевагою. На відміну від традиційно використовуваних в економіці лінійних математичних моделей, фрактальні моделі є нелінійними [3, с. 25].

Самоподібність – це перша фрактальна властивість економічного об'єкту.

Друга властивість – зв'язок (кількісних) фрактальних залежностей за степеневим законом. Наприклад,

$$\frac{R_n}{S_n} \sim cn^H, \quad (1)$$

де R_n – величина розмаху;

S_n – емпіричне стандартне відхилення;

c – деяка константа;

H – показник Херста (Hurst);

n – кількість послідовних років;

«~» – символ еквівалентності [11, с. 272].

Фрактальні залежності діють в умовах просторового тривимірного (трирівневого) масштабу: масштаб підприємства, масштаб регіону (області, великого міста, території), масштаб країни.

Найбільш поширені об'єкти дослідження фрактального аналізу – це процеси, пов'язані з цінними паперами, акціями, фінансовими потоками і т. д. [2; 12; 6].

Наявність великого інноваційного «квіша» і декількох малих інноваційних «квішів» показника активності інноваційної діяльності підприємств України, емпірично підтверджується (рис. 2) та наводить на думку про можливість прояви властивості самоподібності (автомодельності) чинника. Слід зауважити, що на відміну від «точних» математичних формулювань і «ідеальних» фізичних уявлень, які використовують дослідники фрактальної геометрії [2, с. 13], в ситуації з процесами інноваційної діяльності застосування до них фрактального аналізу можливе, але пов'язане з низкою особливостей

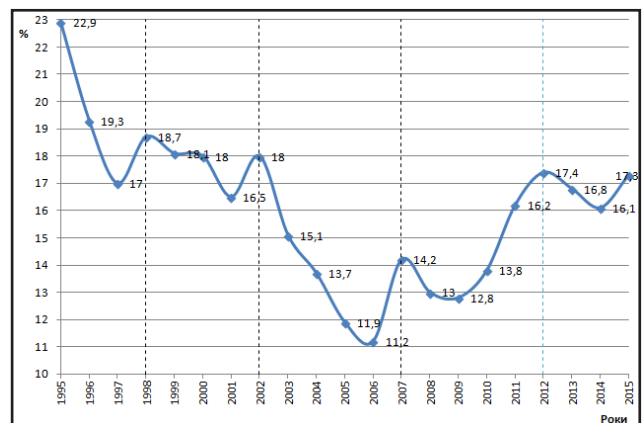


Рис. 2. Представлення активності інноваційної діяльності промислових підприємств у вигляді великого інноваційного «квіша» як сукупності п'яти малих «квішів» з урахуванням відповідних інтервалів політико-економічного управління

Джерело: побудовано автором на основі даних [17]

[2; 14, с. 227–235]. По-перше, досліджуються реалізації інноваційного процесу у вигляді одного часового ряду. По друге, інноваційні «ківші» мають лише загальні риси і відрізняються за формою та розмірами. По-третє, особливістю процесу активності інноваційної діяльності підприємств України (і не тільки) є явне сполучення впливу світової кризи і зміни політичної влади на економіку України, яке проявилось в обертанні контуру малого інноваційного «ківша» на 1800 на суміжних інтервалах часу [2002–2007 рр.], [2007–2012 рр.] (рис. 2).

Досить перспективним у дослідженні властивостей інноваційної діяльності є застосування показника Херста, як чинника, окремі значення якого відповідають за випадковий, стохастичний (непередбачуваний) характер поведінки значень висхідного часового ряду, а інші – за невідповідний.

Скористаємося версією алгоритму розрахунку показника Херста, в якій «нижній кінець» інтервалу дослідження рухомий [15; 16, с. 18–20].

Позначимо часовий ряд показника інноваційної активності підприємств України як $y(t)$, $t = t_0, \dots, t_n$, де $y(t)$ – питома вага підприємств, що займалися інноваціями, %; t_0 – початковий момент часу (1995 р.); t_n – кінцевий момент часу (2015 р.). Важливість детального зазначення одиниць виміру пояснюється тим, що в них проявляється специфіка вимірювання. На відміну від фінансових часових рядів, під час дослідження яких попередньо пропонується перетворення типу $y(t) \rightarrow \ln(y(t+1)/y(t))$ або $y(t) \rightarrow y(t+1) - y(t)$, в нашому випадку ми не будемо користуватися ними.

Фактично алгоритм розкриває ланцюг перетворень від $y(t)$ до співвідношення типу (1). Введемо ковзне середнє значень $y(t)$ на кроці n за вибіркою довжини k :

$$\bar{y}(n, k) = \frac{1}{k} \sum_{i=n-k+1}^n y_i. \quad (2)$$

Розраховуємо розмах накопиченого відхилення від ковзного середнього для вибірки довжини k :

$$R(n, k) = \max_{j \leq n} \left(\sum_{i=n-k+1}^j (y(i) - \bar{y}(n, k)) \right) - \min_{j \leq n} \left(\sum_{i=n-k+1}^j (y(i) - \bar{y}(n, k)) \right). \quad (3)$$

Розраховуємо також ковзну дисперсію досліджуваного часового ряду за вибіркою довжини n :

$$\sigma_y^2(n, k) = \frac{1}{k} \sum_{i=n-k+1}^n (y(i) - \bar{y}(n, k))^2. \quad (4)$$

Розраховуємо логарифм відношення розмаху до похибки:

$$\xi(n, k) = \ln \left(\frac{R(n, k)}{\sigma_y(n, k)} \right). \quad (5)$$

Фіксуємо далі деяку мінімальну довжину вибірки k_0 і максимальну довжину N , яка відповідає часовому горизонту аналізу. Процедура розрахунків (2–5) виконується для вибірок довжин k таких, що $1 < k_0 \leq k \leq N$.

Показник Херста $H_N(n)$ за вибіркою довжини N на кроці n визначається як коефіцієнт регресії величини $\xi(n, k)$ на логарифм довжини вибірки:

$$\xi(n, k) - \bar{\xi}_N(n) = H_N(n) \left(\ln(k) - \frac{\ln \left(\frac{N!}{(k_0 - 1)!} \right)}{N - k_0 + 1} \right) + \varepsilon(k), \quad (6)$$

$$\text{де } \bar{\xi}_N(n) = \frac{1}{N - k_0 + 1} \sum_{k=k_0}^N \xi(n, k);$$

$\varepsilon(k)$ – представляє залишок регресії.

Кут нахилу прямої регресії дорівнює показнику Херста для часового ряду. Таким чином, для $k_0=2$ (мінімальна довжина вибірки), скориставшись формулами регресійного аналізу, отримуємо

$$H_N(n) = \frac{\sum_{k=2}^N (\xi(n, k) - \bar{\xi}_N(n)) \left(\ln k - \frac{\ln N!}{N-1} \right)}{\sum_{m=2}^N \left(\ln m - \frac{\ln N!}{N-1} \right)^2}. \quad (7)$$

Для достатньо великих N у співвідношенні (7) можливо використовувати більш компактний вираз

$$H_N(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\xi(n, k) - \bar{\xi}_N(n)) \left(1 + \ln \left(\frac{k}{N} \right) \right). \quad (8)$$

Як результат, у разі фіксованої довжини вибірки $N=21$, отримуємо сукупність показників Херста $H(n)$ для чинника інноваційної активності підприємств України (рис. 3).

Аналіз послідовності показників Херста (рис. 3) з урахуванням таких їх властивостей як міра фрактальної структури і довгострокової пам'яті, надає можливість наступної інтерпретації. У нашому випадку лише одне значення добігло величини $H(20)=0,42$, яка менша за порогове значення показника Херста 0,5.

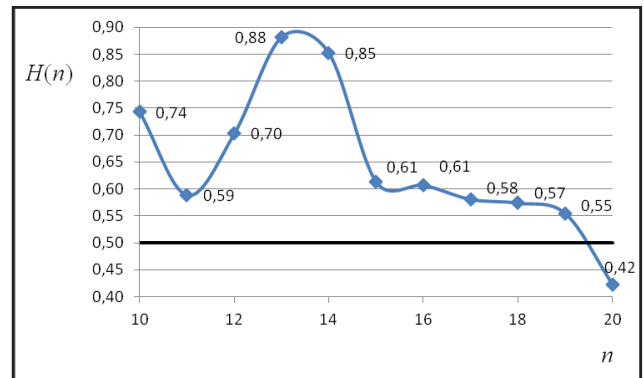


Рис. 3. Динаміка показника Херста $H(n)$ залежно від довжини інтервалу дослідження n

Джерело: розраховано автором на підставі значень рис. 2

Таким чином, якщо оцінювати інноваційну поведінку підприємств України за 20 років (із 1996 по 2015 рр.) на мові R/S-аналізу маємо: ефект фрактальності і можливі «важкі хвости» в розподілі змінної «інноваційна активність підприємств України», наявність антиперсистентності серії, тобто від'ємну кореляцію в змінах показника, рожевий шум із частими змінами напрямку руху показника. Усі інші значення показника Херста перевищують поріг (0,5), що знову підтверджує гіпотезу фрактальності показника, також можливі «важкі хвости» в розподілі змінної «інноваційна активність підприємств України», наявність персистентності серії, тобто позитивної кореляції в змінах показника, наявність чорного шуму, що є свідченням наявності трендів.

Результатом такої інтерпретації задовольнитися важко. Одразу відзначимо, що обсяг вибірки (21 спостереження) замалий. Але це – об'єктивний факт. Більше того, показник Херста «починає працювати», коли інтервал дослідження містить не менше трьох «ківшів», тобто не менше як десять років. Для змістовного аналізу інноваційної діяльності інтервал такої довжини можна вважати достатнім.

Ніяк не інтерпретується динаміка показника Херста. Можна лише зауважити, що має місце посту-

пове збільшення значень показника Херста з 0,55 до 0,61 за умови зменшення розміру інтервалу аналізу з 19 до 15 років (1996–2015 рр. до 2001–2015 рр.). Потім, починаючи з 2001 р. ($H(15)=0,61$), маємо коливальну (приблизно одне коливання) динаміку поведінки показника Херста. Виникають питання щодо причин такої поведінки.

Висновки. Отже, виконані емпіричні дослідження свідчать про практичну відсутність впливу на інноваційну поведінку підприємств України за 20 років (з 1996 по 2015 рр.) випадкових чинників. Навпаки, це показує динаміка показника інноваційної поведінки підприємств України на графіку (рис. 2), мають місце факти фрактальної трендовості і пластичності. Перевірка гіпотези фрактальності ринка інновацій не повинна обмежуватися використанням одного показника. Наприклад, до складу показників, що відображають стан ринка інновацій, можуть бути віднесені: кількість працівників; обсяг реалізованої інноваційної продукції; обсяг витрат на інновації, конкурентоспроможність тощо.

Потребує розробки інструментарій, що дозволяє аналізувати форму інноваційних фракталів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

- Петрова І. Становлення ринку інновацій в контексті економічної безпеки України / І. Петрова // Ефективна економіка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2221>.
- Чайковська І. Фрактальний аналіз та тенденції розвитку інноваційних процесів на промислових підприємствах / І. Чайковська // Економічний часопис XXI. – 2014. – № 7–8(2). – С. 65–68.
- Інновації і маркетинг – рушійні сили економічного розвитку : [монографія] / за ред. С. Ілляшенка. – Суми : ТОВ Друкарський дім «Папірус», 2012. – 536 с.
- Інвестиційно-інноваційна діяльність : теорія, практика, досвід : [монографія] / М. Денисенко, Л. Михайлова, І. Грищенко, А. Гречан та ін. ; За ред. д. е. н., проф., акад. М. Денисенка, д. е. н., проф. Л. Михайлової. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2015. – 1050 с.
- Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. Кроновер. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.
- Барташевська Ю. Фрактальний аналіз фінансових ринків: теоретичні та практичні аспекти застосування / Ю. Барташевська, А. Яворський // Європейський вектор економічного розвитку. – 2015. – № 1(18). – С. 7–14.
- Тур Г. Застосування методу фрактального аналізу для визначення трендових характеристик числових рядів / Г. Тур, О. Трунова // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Шевченка. – 2015. – № 125. – С. 252–256.
- Дубницький В. Вибір методу прогнозування вартості цінних паперів з урахуванням фрактальної вимірності ряду спостережень / В. Дубницький // Бізнес Інформ : наук. журнал. – Харків : ХНЕУ. – 2011. – № 7(1). – С. 120–121.
- Новикова Н. Фрактальные методы и концепция экономически минимальных производственных систем в управлении инновациями / Н. Новикова // Вестник ЮРГТУ (НПИ). – 2011. – № 2. – С. 162–166.
- Светушков С., Ишутин Р. Понятие «рынок инноваций» и его определение. Развитие российского и регионального бизнеса в условиях мирового финансового кризиса // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Псков. – СПб. : изд-во СПбГУЭФ, 2009.
- Ширяев А. Основы стохастической финансовой математики. Т. 1. Факты. Модели / А. Ширяев. – М. : ФАЗИС, 1998. – 512 с.
- Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы / Б. Мандельброт. – Москва-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 256 с.
- Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
- Системи прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах : від теорії до практики : [колективна монографія]. У 2 т. Т. 2. / за заг. ред. Л. Савчук. – Павлоград : АРТ Синтез-Т, 2014. – 429 с.
- Некрасова И. Показатель Херста как мера фрактальной структуры и долгосрочной памяти финансовых рынков / И. Некрасова // Международный научно-исследовательский журнал. Экономические науки. – 2015. – № 7. – Ч. 3. – С. 87–91.
- Кириллов Д. Распределения показателя Херста нестационарного маркированного временного ряда / Д. Кириллов, О. Короб, Н. Митин и др. // Институт прикладной математики имени М. Келдыша [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.keldysh.ru/papers/2013/prep2013_11.pdf.
- Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrstat.gov.ua>.
- Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков : Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс. – М. : Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
- Трунова О. Использование фрактального анализа для исследования динамики сложных систем / О. Трунова, И. Скитер // Математическое и имитационное моделирование систем: Восьмая международная науч.-практ. конф., 24–28 июня 2013 г. ; тезисы докл. – Чернигов, ЧНТУ, 2013. – С. 296–299.
- Найман Э. Как покупать дешево и продавать дорого : Пособие для разумного инвестора / Э. Найман. – М. : Альпина Паблишерз, 2011. – 515 с.