

І. І. Чайковська

кандидат економічних наук,
старший викладач кафедри математики,
статистики та інформаційних технологій,
Хмельницький університет управління та права, Україна
inna.chaikovska@gmail.com



ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Анотація. У статті проаналізовано часові ряди впровадження інновацій на промислових підприємствах (на прикладі Хмельницької області), визначено класифікацію часових рядів за допомогою R/S аналізу та критерію Херста. Виявлено основні тенденції розвитку інноваційних процесів і здійснено прогноз інноваційної діяльності підприємств.

Ключові слова: інноваційна діяльність, фрактальні властивості, критерій Херста, R/S аналіз, прогнозування.

И. И. Чайковская

кандидат экономических наук,
старший преподаватель кафедры математики, статистики и информационных технологий,
Хмельницкий университет управления и права, Украина

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. В статье проанализированы временные ряды внедрения инноваций на промышленных предприятиях (на примере Хмельницкой области), определена классификация временных рядов с помощью R/S анализа и критерия Херста. Выявлены основные тенденции развития инновационных процессов и осуществлен прогноз инновационной деятельности предприятий.

Ключевые слова: инновационная деятельность, фрактальные свойства, критерий Херста, R/S анализ, прогнозирование.

Inna Chaikovska

PhD (Economics), Khmelnytsky University of Management and Law, Ukraine
8 Theatralna Str., Khmelnytsky, 29000, Ukraine

FRactal Analysis and Trends in Innovative Process at Industrial Enterprises

Abstract. The current stage of the world economy development is characterized by rapid growth in innovative component of industrial enterprises, which are the most active members of scientific-technological progress. Despite the fact that Ukraine has a very high intellectual potential, innovative part of economic development ensuring is used poorly. As innovative development is a prior economic strategy, a problem of its forecasting is quite relevant. For reliable forecast one has to examine time series of innovative processes and establish whether it is persistence (anti-persistence), when behavior is generated by a deterministic nonlinear law or it is completely random and to identify trends is the most appropriate method of forecasting. In the paper, we propose to implement innovative development of modeling based at fractal approach, which allows visualizing the mechanisms and predicting the direction of development. Fractal analysis is carried out using R/S method and Hurst exponent. The author analyzes the time series of innovations in industry on the example of Khmelnytsky region, namely: the proportion of firms that have introduced innovations, new processes, development of innovative products; the share of innovative products sales in the industry. We determine the classification of numerical series: random process, persistence property, property anti-persistence. The basic trends in the innovation processes are formulated by persistence (anti-persistence) determination and by prediction of innovative activity up-growth (using the method of exponential smoothing and moving average). The results have shown disappointing prospects for the future; hence, it requires activation of the innovative activity of industrial enterprises in Ukraine.

Keywords: innovation; fractal properties; Hurst exponent; R/S analysis; prediction.

JEL Classification: C13, C53, C60

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується стрімким зростанням інноваційної складової у діяльності промислових підприємств, які є найбільш активним чинником науково-технічного прогресу. Незважаючи на те, що Україна має досить високий інтелектуальний потенціал, інноваційна складова забезпечення економічного розвитку використовується неповною мірою. Оскільки інноваційний розвиток стає пріоритетом економічної стратегії, досить актуальним є завдання його прогнозування. Аби отримати достовірний прогноз, потрібно дослідити часовий ряд інноваційних процесів та встановити, чи він є персистентним (антиперсистентним), тобто його поведінка породжується детермінованим нелінійним законом, чи цілковито випадковим. Для цього слід здійснити фрактальний аналіз і визначити тенденції розвитку інноваційних процесів, а також обґрунтувати вибір оптимального методу прогнозування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування фрактального аналізу в економіці досліджувалися в працях вітчизняних і зарубіжних науковців, як-от Б. Ман-

дельброт та Р. Хадсон (Mandelbrot & Hudson, 2004) [1], Е. Петерс (Peters, 1991) [2], М. Афанасова [3], В. Дубницький [4], Н. Новікова [5], Е. Найман [6] та ін. Однак незважаючи на велику кількість досліджень, питання прогнозування інноваційної активності промислових підприємств із урахуванням фрактальних властивостей часових рядів є недостатньо вивченим, залишається дискусійним і потребує подальших досліджень.

Метою статті є здійснення аналізу часових рядів інноваційного розвитку промислових підприємств Хмельницької області, визначення їх класифікаційних ознак відповідно до фрактальних властивостей, виявлення основних тенденцій подальшого розвитку інноваційної діяльності підприємств та здійснення прогнозу на майбутнє.

Основні результати дослідження. Вибір статистично обґрунтованих методів прогнозування дає змогу вчасно запобігати виникненню проблем у інноваційному секторі економіки і приймати ефективні управлінські рішення для стимулювання інноваційних процесів та інтелектуалізації економіки [7; 8].

Як продемонстрували численні дослідження останніх десятиріч, реалізація більшості динамічних процесів у природі, техніці, економіці мають фрактальну геометрію [1–6]. Фрактальність означає самоподібність [9; 10], тобто на різних масштабах часовий ряд зберігає свою структуру. Необхідно відмітити відсутність універсальної моделі, котра могла б використовуватися для опису фрактальних процесів різної прикладної природи. Таким чином, розробка і вдосконалення моделей процесів, для яких характерні фрактальні властивості, є актуальною та важливою проблемою.

Для здійснення прогнозування необхідно проаналізувати часовий ряд і визначити характер досліджуваної системи – персистентний (антиперсистентний), тобто коли вона функціонує за детермінованим нелінійним законом, чи випадковий. У роботі Е. Петерса (Peters, 1991) [2] відмічається, що будь-який спосіб оцінювання можливості прогнозування зміни у часі економічних показників потребує врахування фрактальних властивостей їх часового ряду.

Різного роду фрактальні структури в економічних системах зумовлюють фрактальну поведінку економічних показників таких систем. Метод Херста (Hurst exponent), що застосовується для аналізу фрактальних властивостей економічних систем за часовими рядами, починаючи від економіки регіону й закінчуючи макроекономікою, може застосовуватися і для прогнозування поведінки таких систем (визначення тенденції змін) [11].

У роботах [4; 6; 12] наведено алгоритм визначення показника Херста, що характеризує ці властивості. Функція Херста впливає на можливості економічного прогнозування [11]. Після розрахунку показника Херста для певного ряду спостережень методикою прогнозування імовірних значень ряду обирають залежно від його персистентності. Популярність показника Херста викликана його високою стійкістю, можливістю класифікації часових рядів і визначення їх випадкового чи не випадкового характеру.

Алгоритм розрахунку показника Херста (фрактальний метод, заснований на R/S аналізі, або метод нормованого розмаху) можна описати таким чином [4; 6; 12]:

1. Спочатку визначаються відхилення від середнього значення:

$$X_{t,N} = \sum_{u=1}^t (e_u - M_N), \quad (1)$$

де N – довжина періоду, який змінюється від 2 до <довжини часового ряду>; t – змінна, значення якої коливається від 1 до $N-1$; M_N – середнє N елементів; e – конкретний елемент часового ряду.

2. На кожній ітерації отримуємо $N-1$ значень $X_{t,N}$, які використовуються у формулі (2):

$$R = \text{Max}(X_{t,N}) - \text{Min}(X_{t,N}), \quad (2)$$

де R – розмах відхилень X .

3. Далі відбувається нормування розмаху шляхом ділення на стандартне відхилення S , котре знаходиться по N значенням.

4. Логарифмуємо R/S та N і будемо на основі отриманих даних графік функції залежності значення R/S у логарифмічному масштабі від періоду в логарифмічному масштабі.

5. На графіку функції $\ln(R/S)$ від $\ln(t)$ знаходимо нахил шляхом лінійної апроксимації. Тангенс кута цього нахилу і є показником Херста.

Показник Херста, своєю чергою, пов'язаний із фрактальною розмірністю D кривої співвідношенням:

$$D = 2 - H, \quad (3)$$

де D – фрактальна розмірність кривої.

Показник H , за аналогією з узагальненим броунівським рухом, може набувати значень від 0 до 1. Для аналі-

зу економічних показників, породжених визначеною економічною системою, це має такий сенс:

1) ($0 < H < 0,5$) або ($1,5 < D \leq 2$) – антиперсистентний або ергодичний часовий ряд («рожевий шум»), спостерігається контртрендовість, схильність економічної системи до постійної зміни тенденції (зростання змінюється спаданням, та навпаки). Стійкість подібної антиперсистентної поведінки залежить від того, наскільки H близький до нуля. Чим ближче його значення до нуля, тим ряд більш мінливий або волатильний. Такий тип системи часто називають «повернення до середнього»;

2) ($H = 0,5$) або ($D = 1,5$) – числовий ряд абсолютно випадковий або стохастичний («білий шум»), відсутність довготривалої статистичної залежності (випадкова поведінка економічного показника);

3) ($0,5 < H \leq 1$) або ($1 < D < 1,5$) – персистентний часовий ряд («чорний шум»), спостерігається тренд, збереження тенденції до зростання чи спадання показника як у минулому, так і в майбутньому. При цьому чим вищим є значення показника, тим частіше за його підйомом слідує підйом, а за спадом – спад.

Отже, відхилення значення показника Херста від 0,5 є своєрідним відображенням фрактальних властивостей процесів, які породжують часові ряди.

Використання властивості персистентності (антиперсистентності) дозволяє порівняно просто і надійно спрогнозувати подальший розвиток досліджуваного процесу на основі даних про його історію.

У роботах [13; 14] було встановлено, що всі ці властивості справедливі навіть тоді, коли часові ряди є відносно короткими, що досить актуально для дослідження інноваційної діяльності, адже статистична інформація на тривалій період відсутня.

Розглянемо застосування показника Херста та R/S методу для показників упровадження інновацій на промислових підприємствах Хмельницької області (табл. 1).

У табл. 2 відображено матрицю кореляції показників, наведених у табл. 1.

Як видно з табл. 2, обрані показники між собою не корелюють (абсолютне значення не перевищує рівня 0,8), а тому проаналізуємо часові ряди всіх обраних показників.

На рис. 1 зображено часовий ряд показників упровадження інновацій у 2000–2013 рр. (табл. 1).

На рис. 2 показано зміну співвідношення R/S залежно від довжини ряду. По осі абсцис відображається період у логарифмічному масштабі, по осі ординат – відповідне їм значення R/S у логарифмічному масштабі.

Як видно на рис. 2, нормований розмах R/S зростає для всіх показників і може бути описаний рівнянням лінійної регресії.

Для x_1 : $\ln(R/S) = 0,3955 \ln(n) + 0,193$. Звідси випливає, що $H = 0,3955$ або $D = 1,6045$.

Для x_2 : $\ln(R/S) = 0,4709 \ln(n) + 0,0917$, $H = 0,4709$ або $D = 1,5291$.

Для x_3 : $\ln(R/S) = 0,2625 \ln(n) + 0,3126$, $H = 0,2625$ або $D = 1,7375$.

Для x_4 : $\ln(R/S) = 0,3871 \ln(n) + 0,2348$, $H = 0,3871$ або $D = 1,6129$.

На підставі того, що для x_2 (кількість освоєних інноваційних видів продукції) показник Херста досить близький до 0,5, можна зробити висновок, що досліджуваний ряд стохастичний і прогнозувати цей показник немає сенсу. Усі інші показники (x_1 , x_3 та x_4) за показником Херста ($H < 0,5$) відносяться до антиперсистентних часових рядів.

Під час дослідження було встановлено, що значення показника Херста, відмінне від 0,5, демонструє наявність фрактальних властивостей і дозволяє визначити тенденції розвитку та дає змогу врахувати особливості часового ряду для вибору адекватного методу прогнозування. Відсутність тренду в досліджуваному процесі та характеристика означених показників (як «повернення до середнього») дозволяють вибрати модель випадкового блукання (одномірний броунівський рух) і використати для прогнозування експоненційне згладжування [4] та ковзне

Таблиця 1

Показники впровадження інновацій на промислових підприємствах Хмельницької області у 2000-2013 рр.

Рік	Питома вага підприємств, що впроваджували інновації, % (x1)	Кількість упроваджених нових технологічних процесів (x2)	Кількість освоєних інноваційних видів продукції (x3)	Питома вага реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової, % (x4)
2000	11,8	26	405	5,3
2001	10,8	14	360	6,3
2002	8,9	13	307	3,8
2003	6,1	55	72	3,0
2004	4,8	12	31	3,9
2005	3,4	13	19	4,0
2006	6,5	4	20	1,9
2007	6,4	8	7	1,2
2008	3,9	16	8	0,6
2009	5,1	14	14	0,5
2010	16,0	42	36	0,3
2011	20,9	44	43	2,1
2012	22,2	32	27	2,3
2013	17,9	24	23	1,6

Джерело: Складено на основі даних Головного управління статистики у Хмельницькій області [15]

Таблиця 2

Матриця кореляції показників упровадження інновацій на промислових підприємствах Хмельницької області

	x1	x2	x3	x4
x1	1			
x2	0,5282	1		
x3	0,0529	-0,058	1	
x4	-0,078	-0,119	0,7774	1

Джерело: Розробка автора

середнє. Показник середньоквадратичного відхилення (СКВ) між реальними і змодельованими значеннями було взято за критерій визначення найбільш адекватної моделі подальшого прогнозування (табл. 3).

Результати прогнозування показників x1, x3, x4 на 2014 рік наведено в табл. 3. Обрання найбільш адекватної моделі здійснювалося з урахуванням мінімального СКВ.

За результатами прогнозування показників інноваційного розвитку промислових підприємств Хмельницької області ми дійшли висновку, що у 2014 році питома вага підприємств, що впроваджували інновації, збільшиться на 0,41% – від 17,9 до 18,31%;

кількість освоєних інноваційних видів продукції залишиться на незмінному рівні (23 найменування); питома вага реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової зросте на 0,35% – від 1,6 до 1,95%.

Висновки. Фрактальний аналіз стану інноваційної діяльності промислових підприємств Хмельницької області у 2000–2013 рр. дав змогу визначити, що такі показники, як питома вага підприємств, що впроваджували інновації, кількість освоєних інноваційних видів продукції та питома вага реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової, належать до антиперсистентних часових рядів, а кількість упроваджених нових технологічних процесів – до випадкових, де прогнозування є недоцільним.

Попри певну позитивну тенденцію зміни показників упровадження інновацій прогнозні значення демонструють недостатній рівень розвитку інноваційних процесів на промислових підприємствах Хмельниччини та високу ймовірність збереження аналогічних тенденцій у майбутньому, що призведе до погіршення економічної ситуації як у регіоні, так і країні в цілому. Тому слід змінювати основні засади проведення інноваційної політики на промислових підприємствах.

Необхідність подолання проблем на шляху інноваційного розвитку вітчизняних промислових підприємств потребує: розробки та реалізації дієвих програм підтримки і стимулювання інноваційного розвитку на державному рівні; надання державних гарантій щодо проектів, які передбачають упровадження сучасних технологічних процесів, у тому числі маловідходних, ресурсозберезувальних та безвідходних; створення сприятливого інвестиційного клімату, що дозволить залучати кошти іноземних інвесторів із світового фінансового ринку.

Подальші дослідження будуть спрямовані на застосування фрактального підходу при прогнозуванні рівня інтелектуального капіталу на окремих промислових підприємствах.

Література

1. Mandelbrot B. The (Mis)Behavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence / B. Mandelbrot, R. Hudson. – New York : Basic Books, 2004. – 352 p.

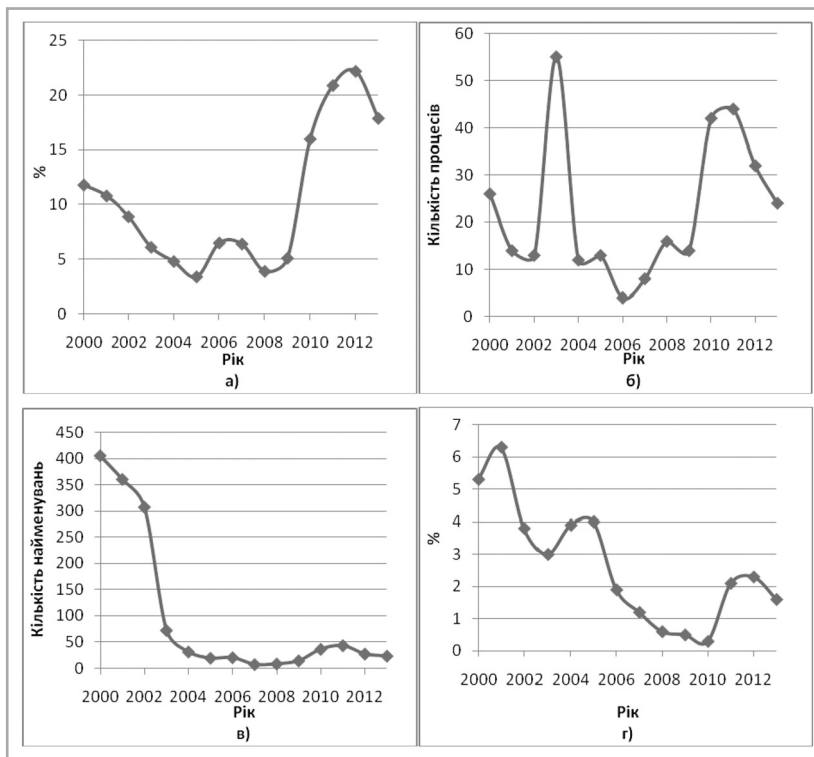


Рис. 1. Часовий ряд показників упровадження інновацій на промислових підприємствах Хмельницької області у 2000-2013 роках: а) питома вага підприємств, що впроваджували інновації; б) кількість упроваджених нових технологічних процесів; в) кількість освоєних інноваційних видів продукції; г) питома вага реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової

Джерело: Побудовано автором на основі даних табл. 1

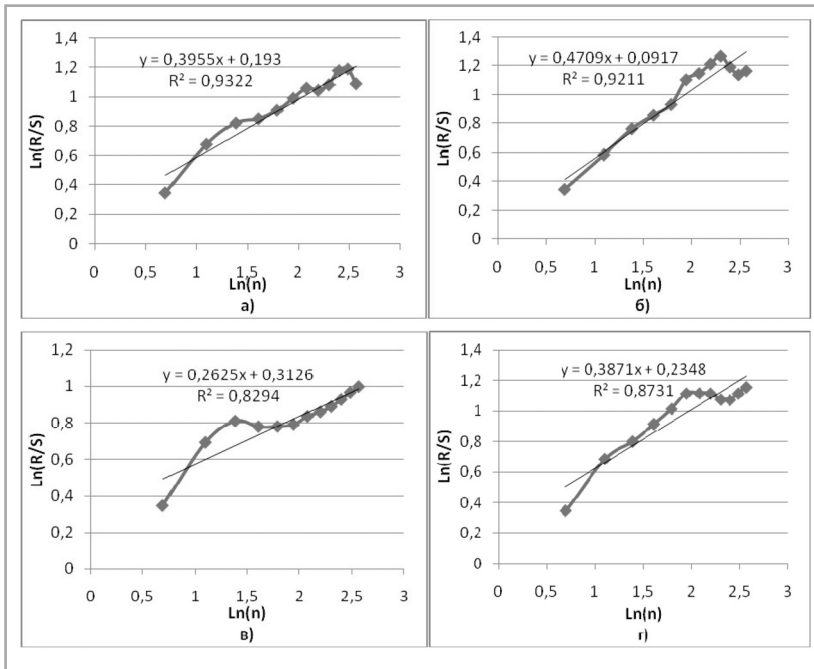


Рис. 2. Співвідношення R/S залежно від довжини ряду для показників а)-г), представлених на рис. 1
Джерело: Авторська розробка

Таблиця 3

Середньоквадратичне відхилення модельних та фактичних значень показників упровадження інновацій та їх прогнозне значення

Період	Ковзне середнє			Експоненційне згладжування			
	x1	x3	x4	Фактор затухання	x1	x3	x4
2	5,103	92,089	1,342	0,1	4,040	72,817	1,176
3	6,018	114,338	1,367	0,2	4,214	77,125	1,187
4	6,653	102,475	1,384	0,3	4,417	82,706	1,208
5	7,316	90,798	1,613	0,4	4,665	89,948	1,241
6	7,959	82,330	1,850	0,5	4,975	99,511	1,295
7	8,855	78,334	1,886	0,6	5,361	112,593	1,382
8	9,769	70,379	1,856	0,7	5,820	131,663	1,526
9	10,587	60,797	1,702	0,8	6,293	162,677	1,785
10	11,610	51,512	1,409	0,9	6,625	221,579	2,289
11	12,071	56,128	0,526	Мінімальне СКВ	4,040	51,512	0,526
12	11,202	70,765	0,704	Прогноз (2014 р.)	18,31	23	1,95
13	8,146	80,769	1,108	Тенденція	↑(0,41)	-	↑(0,35)

Джерело: Авторська розробка

2. Peters E. Chaos and Order in the Capital Markets / E. Peters. – New York : John Wiley, 1991. – 240 p.

3. Афанасова М. А. Управление формированием наукоёмких интегрированных структур в инновационно активных регионах // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 3. – С. 111–112.

4. Дубницький В. Ю. Вибір методу прогнозування вартості цінних паперів з урахуванням фрактальної вимірності ряду спостережень / В. Ю. Дубницький // Бізнес Інформ : наук. журнал. – Харків : ХНЕУ, 2011. – № 7(1). – С. 120–121.

5. Новикова Н. Б. Фрактальные методы и концепция экономически минимальных производственных систем в управлении инновациями / Н. Б. Новикова // Вестник ЮРГТУ (НПИ). – 2011. – № 2. – С. 162–166.

6. Найман Э. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков и макроэкономических индикаторов / Э. Найман // Экономист. – 2009. – № 10. – С. 25–29.

7. Чайковська І. І. Комплексна модель управління інтелектуальним капіталом підприємства / І. І. Чайковська // Економічний часопис-XXI. – 2012. – № 7–8. – С. 75–79.

8. Чайковська І. І. Економіко-математичне моделювання в управлінні інтелектуальним капіталом підприємства : монографія / І. І. Чайковська. – Хмельницький : Хмельницький університет управління та права, 2014. – 314 с.

9. Чайковська І. І. Застосування сучасних інформаційних технологій для моделювання економічних процесів на основі фрактального аналізу / І. І. Чайковська // Університетські наукові записки. – 2014. – № 1. – С. 378–387.

10. Чайковська І. І. Деякі аспекти застосування фрактального аналізу при дослідженні економічних процесів / І. І. Чайковська // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (Вип. 1) : зб. тез доповідей Всеукр. наук. Інтернет-конф., 30–31 січня 2014 р. – Тернопіль : Тайп, 2014. – С. 10–11.

11. Лыков И. А. Влияние изменения функции Херста на возможности экономического прогнозирования / И. А. Лыков, С. А. Охотников // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 1539–1544.

12. Clegg R. G. A practical guide to measuring the Hurst parameter // Computing Science Technical Report. – 2005. – No. CS-TR-916. – P. 125–138.

13. Быстрай Г. П. Методы нелинейной динамики в анализе и прогнозировании экономических систем регионального уровня / Г. П. Быстрай, Л. А. Коршунов, И. А. Лыков, Н. Л. Никулина, С. А. Охотников // Журнал экономической теории. – 2010. – № 3. – С. 103–114.

14. Быстрай Г. П. Диагностика и прогнозирование социально-экономического развития регионов в рамках нелинейной динамики / Г. П. Быстрай, Л. А. Коршунов, Н. Л. Никулина, И. А. Лыков // Вестник Тюменского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 164–170.

15. Головне управління статистики у Хмельницькій області / Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.km.ukrstat.gov.ua/ukr/index.htm>

Стаття надійшла до редакції 10.06.2014

References

1. Mandelbrot, B., & Hudson, R. (2004). *The (Mis)Behavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence*. New York: Basic Books.

2. Peters, E. (1991). *Chaos and Order in the Capital Markets*. New York: John Wiley.

3. Afanasova, M. A. (2009). Managing knowledge-based integrated structures in innovation-active regions. *Fundamentalnye issledovaniia (Fundamental Research)*, 3, 111-112 (in Russ.).

4. Dubnytskyi, V. Yu. (2011). Choosing a method of predicting the value of securities based on the fractal dimension of a number of observations. *Biznes Inform (Business Inform)*, 7(1), 120-121 (in Ukr.).

5. Novikova, N. B. (2011). Fractal methods and the concept of the minimum cost of production systems in management of innovation. *Vestnik YuRGTU (Herald of NPI)*, 2, 162-166 (in Russ.).

6. Naiman, E. (2009). Calculation of the Hurst exponent to identify trend (persistence) of financial markets and macroeconomic indicators. *Ekonomist (Economist)*, 10, 25-29 (in Russ.).

7. Chaikovska, I. I. (2012). Complex management model of the enterprise intellectual capital. *Ekonomichnij Casopis-XXI (Economic Annals-XXI)*, 7-8, 75-79 (in Ukr.).

8. Chaikovska, I. I. (2014). *Economic-mathematical modeling in the management of the enterprise intellectual capital*. Khmelnytsky: Khmelnytsky University of Management and Law (in Ukr.).

9. Chaikovska, I. I. (2014). Usage of modern information technologies for economic processes modeling based at fractal analysis. *Universitetski naukovy zapysky (University Scientific Notes)*, 1, 378-387 (in Ukr.).

10. Chaikovska, I. I. (2014, January 30-31). Some aspects of fractal analysis application in the study of economic processes. *Information society: technological, economic and technical aspects of formation* (pp. 10-11). Ternopil: Taipei (in Ukr.).

11. Lykov, I. A., & Okhotnikov, S. A. (2013). Effect of changes in the Hirst function on opportunities for economic growth forecasting. *Fundamentalnye issledovaniia (Fundamental Research)*, 10, 1539-1544 (in Russ.).

12. Clegg, R. G. (2005). *A practical guide to measure the Hurst parameter* (Computing science technical report). CS-TR-916, 125-138.

13. Bystрай, G. P., Korshunov, L. A., Lykov, I. A. et al. (2010). Methods of non-linear dynamics in the analysis and forecasting of economic systems at the regional level. *Zhurnal ekonomicheskoi teorii (Journal of Economic Theory)*, 3, 203-114 (in Russ.).

14. Bystrai, G. P., Korshunov, L. A., Nikulina, N. L. et al. (2010). Diagnosis and prognosis of the regions socio-economic development in the framework of nonlinear dynamics. *Vestnik Tiimenskoho gosudarstvennoho universiteta (Herald of the Tiumen State University)*, 4, 164-170 (in Russ.).

15. Department of the State Service of Statistics in Khmelnytsky region (Official website). Retrieved from <http://www.km.ukrstat.gov.ua/ukr/index.htm>

Received 10.06.2014