

УДК 519.766.4:004.942

Недашківський Є.А.

Національний технічний університет України Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ФРАКТАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Недашківський Є.А. Ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. У роботі визначено ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. Проведена перевірка працездатності інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями і програмних реалізацій на реальних даних підтвердила можливість забезпечення об'єктивності під час проведення прогнозування. Використання інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями дозволить забезпечити високий рівень прогнозування з максимально повною реалізацією аналітичної системи.

Ключові слова: інформаційна технологія, аналіз, прогнозування, фінансові часові ряди, лінгвістичне моделювання, фрактальні властивості.

Недашковский Е. А. Эффективность информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами на основе лингвистического моделирования. В работе определена эффективность информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами на основе лингвистического моделирования. Проведенная проверка работоспособности информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами и программных реализаций на реальных данных подтвердила возможность обеспечения объективности при проведении прогнозирования. Использование информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами позволит обеспечить высокий уровень прогнозирования с максимально полной реализацией аналитической системы.

Ключевые слова: информационная технология, анализ, прогнозирование, финансовые временные ряды, лингвистическое моделирование, фрактальные свойства.

Nedashkivskiy Y. A. Effectiveness of information technology for analyzing and predicting time series with fractal properties based on linguistic modeling. The paper defines the effectiveness of information technology for analyzing and predicting time series with fractal properties based on linguistic modeling. A test of the performance of information technology for analyzing and predicting time series with fractal properties and software implementations on real data confirmed the possibility of ensuring objectivity in conducting forecasting. The use of information technology for analyzing and forecasting time series with fractal properties will provide a high level of forecasting with the most complete implementation of the analytical system. The study of the three adaptive type methods showed that the Brown model works only with a small forecast horizon, that is, the trend and seasonal changes are not taken into account. Information technology for analyzing and forecasting time series with fractal properties is universal and allows you to adapt the planning process of forecasting financial time series to the level of formation of the initial series.

Keywords: information technology, analysis, forecasting, financial time series, linguistic modeling, fractal properties.

Постановка наукової проблеми. Більшість підходів до аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями засновано на статистичних методах і моделях [1]. Однак, не дивлячись на актуальність і масштабність даного підходу, він не є досить точним, в силу відсутності розуміння природи мінливості ринків капіталу і механізму передбачення коливання цін. У більшості випадків, результат виникнення зовнішніх факторів здійснює вплив на динаміку часових рядів з фрактальними властивостями, а саме відбувається порушення структури, при цьому попередні дані залишаються незмінними. Це є особливістю практично будь-якого фінансового часового ряду. Тому в умовах сучасної ринкової економіки актуальним питанням є розробка теоретико-методологічних аспектів прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання.

Аналіз досліджень. Сучасна теорія економічних систем пропонує спиратися на теорію динамічних систем [2], або теорію хаосу [3, 4]. Даний підхід, порівняно молодий, проте спираючись на дослідження [5,6] є можливість стверджувати про злиття методів нелінійної динаміки з існуючими економічними дослідженнями, що в комплексі призведе до створення нових моделей ринків капіталу. Аналіз часових рядів [7, 8], в умовах нинішньої економічної науки, відноситься до розділу математичної фізики, який активно розвивається і поглинає як методи теорії динамічних систем так і методи фрактального аналізу [9]. Як окрема структурна одиниця, даний механізм аналізу активно застосовується в економіці для аналізу інформації у вигляді часових рядів котирувань акцій компаній. Алгоритм підходу базується на нестабільності ринку цінних паперів, що призводить до значних коливань і як наслідок, до виникнення хаотичних динамічних систем. Хаос в динамічних

системах, це ніщо інше, як експонентний розкид близьких траєкторій для класу хаотичних атракторів. Рівень експоненціального розкиду характеризується старшим показником Ляпунова, а рівень «безладу» – ентропією. Наслідок знаходження будь-який з цих величин, є значенням горизонту прогнозу для аналізованого часового ряду. Так само знаходження розмірності вкладення, тобто мінімальне число динамічних змінних, які однозначно описують спостережуваний процес, можна знайти використовуючи фундаментальні аспекти теорії динамічних систем. На сьогодні, формування та побудова моделей спрямованих на відображення динаміки фінансових часових рядів [10] є однією з головних проблем при аналізі та прогнозуванні часових рядів з фрактальними властивостями. Проблемам автоматизації системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями присвячено роботи як вітчизняних так і зарубіжних учених, до їх числа варто віднести: П.І. Бідюка, О.І. Савенкова, І.В. Баклана [10], А.К. Лопатина [11, 12], О.Ю. Берзлеву [13], А.С. Нечипоренка [14], І.А. Ликова, С.А. Мисливціва [15], А.В. Матвійчука [16], І.Г. Лук'яненко, В.М. Жука [17], G. Коор, D. Korobilis [18], Vercellis Carlo [19], Pandit S.M., Wu, S.-M [20] та ін. Автоматизований підхід розкривають такі відомі вчені як Є.О. Глотов, О.М. Попова [21] та І.І. Чайковська [22]. Саме Е. Найман [23] відокремив основні напрямки розрахунку показника Херста з метою виявлення персенстенції. Такі автори як В.Ю. Дубницький [24] та К.І. Крицун [25] надають вичерпну інформацію по складанню інформаційних матриць та методології системного аналізу в рамках досліджуваної системи. Проведений аналіз сучасних наукових робіт у галузі автоматизації процесів аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, розробки спеціалізованих програмних додатків інформаційної підтримки процесів аналізу та прогнозування фінансових часових рядів показує, що на сьогоднішній день основні напрямки дослідження науковців направлені на розробку комплексних інтеграційних рішень, які могли б враховувати вплив людського фактору на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Однак, варто зазначити, що досліджені розробки та досягнення не враховують існуючий і дуже важливий взаємозв'язок між аналізом часових рядів та їх подальшим прогнозуванням з урахуванням фрактальних особливостей.

Тому, існує нагальна потреба в подальшому дослідженні методів, принципів та механізмів реалізації, формалізації та алгоритмізації процесу аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями в системі управління інформаційними технологіями економічного спектру.

Мета роботи. У даній статті необхідно визначити ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Автоматизована система аналізу та прогнозування фінансового часового ряду (АС ПФЧР) за допомогою лінгвістичного моделювання спрямована на рішення завдань прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями. Здійснено оцінку ефективності інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання.

Об'єктом дослідження є часовий ряд типу:

$$\{\tilde{X}(x)\}(x = 1 \div t), \quad (1)$$

в якому $\tilde{X}(x)$ є часовим рядом з фрактальними властивостями, що характеризується кортежем [29]:

$$\left\{ \frac{k_j^x}{\mu(k_j^x)} \right\}, \mu(k_j^x) \rightarrow [0,1], j = 1 \div J, \quad (2)$$

Початкові дані приведемо в табл. 1 та на рис. 1. Загальна кількість даних складає 53208 позицій.

Таблиця 1. Часовий ряд з фрактальними властивостями

№	Дата/Час	Вартість
1	01.09.2012 0:00	275,22
2	01.09.2012 1:00	0,00
3	01.09.2012 2:00	0,00
4	01.09.2012 3:00	0,00
5	01.09.2012 4:00	0,00
6	01.09.2012 5:00	29,96
7	01.09.2012 6:00	343,73
7	01.09.2012 7:00	440,01
8	01.09.2012 8:00	462,64
...
53206	25.09.2018 21:00	1 240,26
53207	25.09.2018 22:00	1 183,48
53208	25.09.2018 23:00	1 129,49

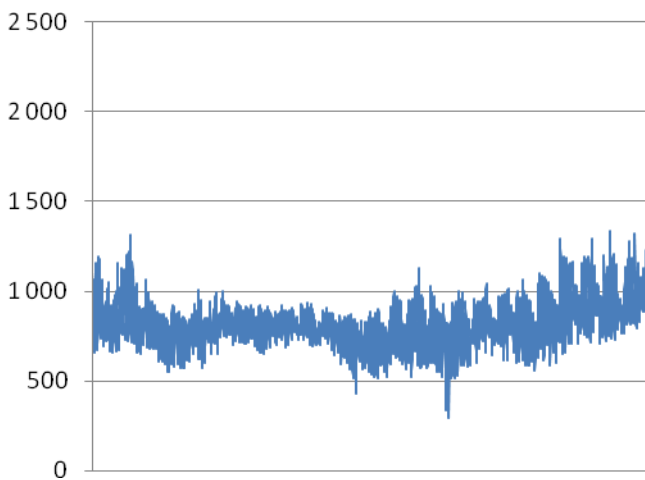
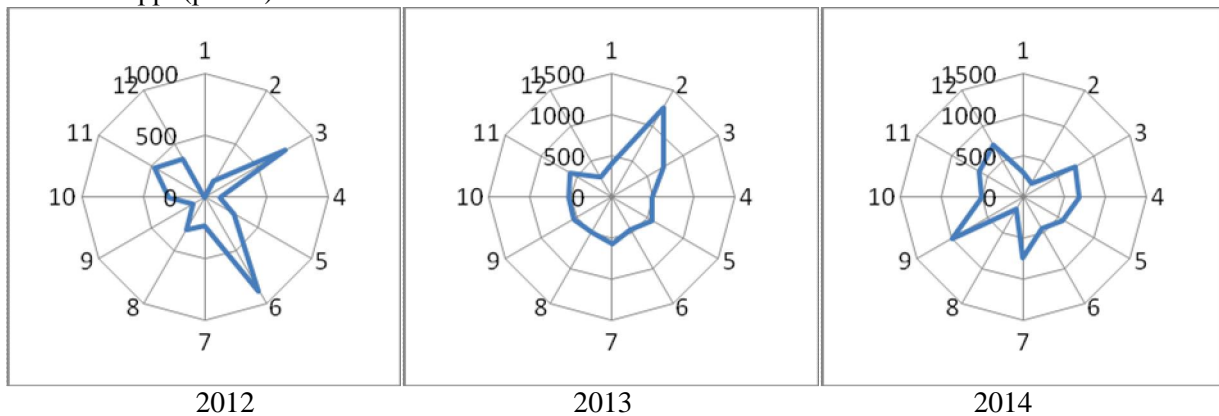


Рис. 1. Діаграма розподілу часового ряду з фрактальними властивостями

Запропонований ряд є слабо структурованим в силу ряду об'єктивних та суб'єктивних причин достовірності даних. Проаналізуємо вагові приналежності за відповідними позиціями $q_0 - q_6$, тобто за 2012-2018 рр. (рис. 2).



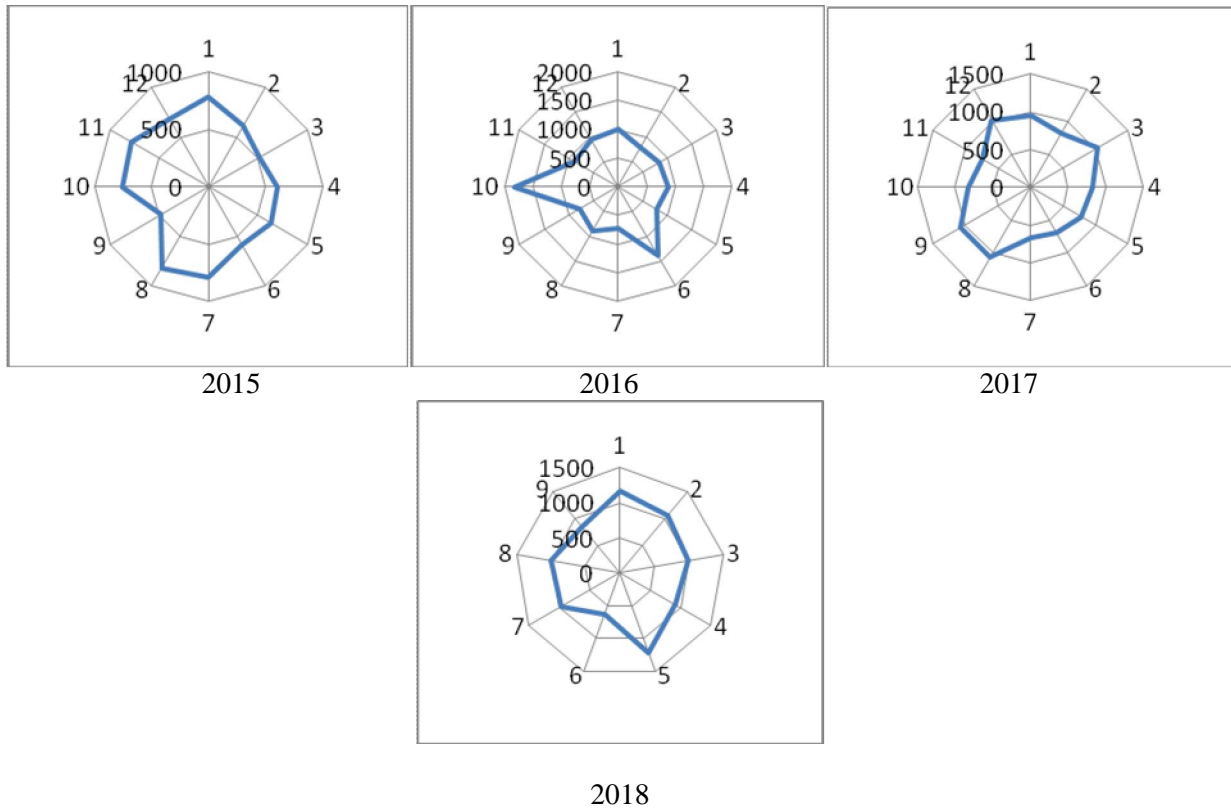


Рис. 2. Діаграми вагових приналежностей часового ряду з фрактальними властивостями у межах часового розподілу

Задамо значення лінгвістичної змінної (терми) відповідно до множини:
 $U = \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$;

таким чином:

V – високе, тоді: $\mu_v(u) = u, u \in U$;

BV – більш високе, тоді: $\mu_{bv}(u) = \sqrt{u}, u \in U$;

DV – дуже високе, тоді: $\mu_{dv}(u) = u^2, u \in U$;

ZV – занадто високе, тоді: $\mu_{zv}(u) = \begin{cases} 1, & u = 1, \\ 0, & u < 1, \end{cases} u \in U$;

N – низьке, тоді: $\mu_n(u) = 1 - u, u \in U$;

BN – більш низьке, тоді: $\mu_{bn}(u) = \sqrt{1 - u}, u \in U$;

DN – дуже низьке, тоді: $\mu_{dn}(u) = (1 - u)^2, u \in U$;

ZN – занадто низьке, тоді: $\mu_{zn}(u) = \begin{cases} 0, & u = 1, \\ 1, & u < 1, \end{cases} u \in U$.

На основі формування консолідованих множин, щодо вагових приналежностей часового ряду з фрактальними властивостями у межах часового розподілу відповідно висловлювань $e_k (k = 1 - 7)$, таблиця відповідності прийме наступний вигляд (рис. 3). Таким чином, в прийнятих позначеннях наведені висловлювання запишемо у вигляді наступних правил:

e_1 : «Якщо $x_t = M_1$, тоді $y = ZN$ »;

e_2 : «Якщо $x_t = M_2$, тоді $y = DN$ »;

e_3 : «Якщо $x_t = M_3$, тоді $y = BN$ »;

e_4 : «Якщо $x_t = M_4$, тоді $y = N$ »;

e_5 : «Якщо $x_t = M_5$, тоді $y = V$ »;

e_6 : «Якщо $x_t = M_6$, тоді $y = BV$ »;

e_7 : «Якщо $x_t = M_7$, тоді $y = DV$ »;

e_8 : «Якщо $x_t = M_8$, тоді $y = ZV$ ».

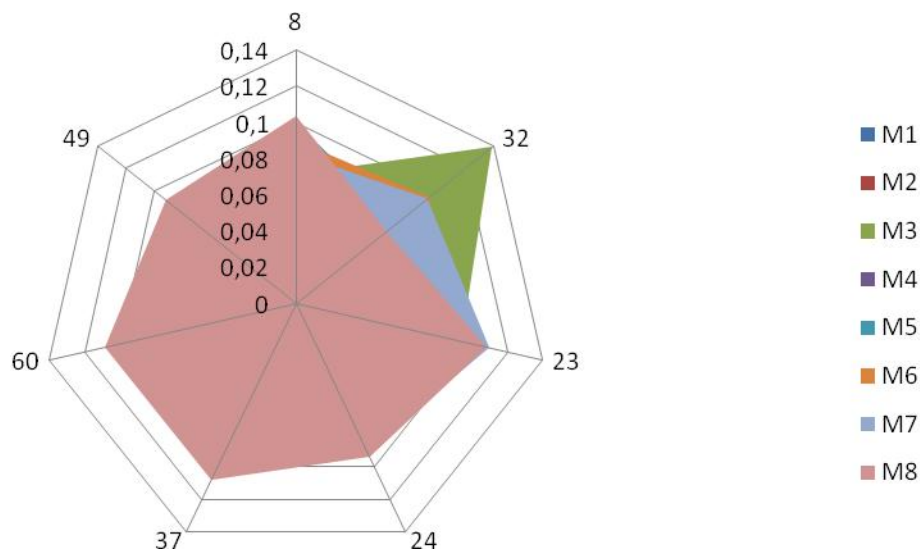


Рис. 3. Діаграма розподілу консолідованих множин, щодо вагових приналежностей часового ряду з фрактальними властивостями

Для перетворення цих правил скористаємося виразом [30]:

$$\mu_H(x, y) = \min\{1, 1 - \mu_X(x) + \mu_Y(y)\}. \quad (3)$$

Тоді для кожної пари $(x, y) \in X \times Y$ можна отримати відносини $X \times Y$. У результаті перетину відношень R_1, R_2, \dots, R_n отримаємо наступне загальне функціональне рішення, що відбиває причинно-наслідковий зв'язок між складовими часового ряду з фрактальними властивостями і, власне, їх величиною (табл. 2)

Таблиця 2. Результат розрахунку загального функціонального рішення

U	R						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0,013369	0,061549	0,066053	0,061975	0,059117	0,024904	0,098565
0,1	0,029431	0,07104	0,133324	0,080333	0,082092	0,105393	0,098384
0,2	0,04637	0,062628	0,067762	0,070033	0,096879	0,112077	0,103676
0,3	0,042242	0,0382	0,003884	0,038814	0,086801	0,080374	0,094901
0,4	0,062403	0,062025	0,072275	0,072662	0,083784	0,10092	0,100677
0,5	0,075847	0,04944	0,058099	0,057285	0,077536	0,089205	0,129648
0,6	0,047098	0,065366	0,061504	0,059594	0,093588	0,106625	0,12987
0,7	0,058531	0,059274	0,066297	0,07139	0,090458	0,107698	0,058973
0,8	0,032173	0,052489	0,084419	0,069729	0,059117	0,085409	0,062097
0,9	0,029052	0,04812	0,054456	0,060714	0,113579	0,092587	0,063081
1,0	0,061288	0,118713	0,070552	0,048538	0,104238	0,108931	0,100849

Значення k часової даної $A_k (k_{2012-2018} = 1 + 7)$ може бути знайдено по засобом наступного правила композиційного виведення:

$$A_k = G_k \circ R (k_{2012-2018} = 1 - 7), \quad (4)$$

де G_k є відображенням розкладання у вигляді нечіткої підмножини.

A_k є нечіткою інтерпретацією k -ої даної часового ряду з фрактальними властивостями відповідно до вектора $(0; 0.1; 0.2; \dots; 1)$, тобто:

$$A_1 = A_{2012} = 0,013369/_{0} + 0,029431/_{0,1} + 0,04637/_{0,2} + 0,042242/_{0,3} + 0,062403/_{0,4} + 0,075847/_{0,5} + 0,047098/_{0,6} + 0,058531/_{0,7} + 0,032173/_{0,8} + 0,029052/_{0,9} + 0,061288/_{1,0}$$

Таким чином, в результаті аналізу часового ряду з фрактальними властивостями, отримано аналог розглянутого часового ряду, який представлений в табл. 3.

Таблиця 3. Модель часового ряду з фрактальними властивостями

Значення функції приналежності	Рік дослідження						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0,013369	0,061549	0,066053	0,061975	0,059117	0,024904	0,098565
0,1	0,029431	0,07104	0,133324	0,080333	0,082092	0,105393	0,098384
0,2	0,04637	0,062628	0,067762	0,070033	0,096879	0,112077	0,103676
0,3	0,042242	0,0382	0,003884	0,038814	0,086801	0,080374	0,094901
0,4	0,062403	0,062025	0,072275	0,072662	0,083784	0,10092	0,100677
0,5	0,075847	0,04944	0,058099	0,057285	0,077536	0,089205	0,129648
0,6	0,047098	0,065366	0,061504	0,059594	0,093588	0,106625	0,12987
0,7	0,058531	0,059274	0,066297	0,07139	0,090458	0,107698	0,058973
0,8	0,032173	0,052489	0,084419	0,069729	0,059117	0,085409	0,062097
0,9	0,029052	0,04812	0,054456	0,060714	0,113579	0,092587	0,063081
1,0	0,061288	0,118713	0,070552	0,048538	0,104238	0,108931	0,100849
Аналог A_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
Оцінка	0,452549	0,626222	0,071477	0,482427	0,086108	0,92193	0,04611

Наступним кроком є визначення множини кожного окремого рівня:

$$A_\alpha = \{u | \mu_A(u) \geq \alpha, u \in U\}, \quad (5)$$

та середнього числа елементів у складі часового ряду з фрактальними властивостями:

$$M(A_\alpha) = 1/n \sum_{k=1}^n u_k, u_k \in A_\alpha.$$

Динаміка розподілу оціночних складових фінансового ряду з фрактальними властивостями наведена на рис. 4. Прогнозні значення у вигляді діаграми розподілу часового ряду з фрактальними властивостями наведені на рис. 5.

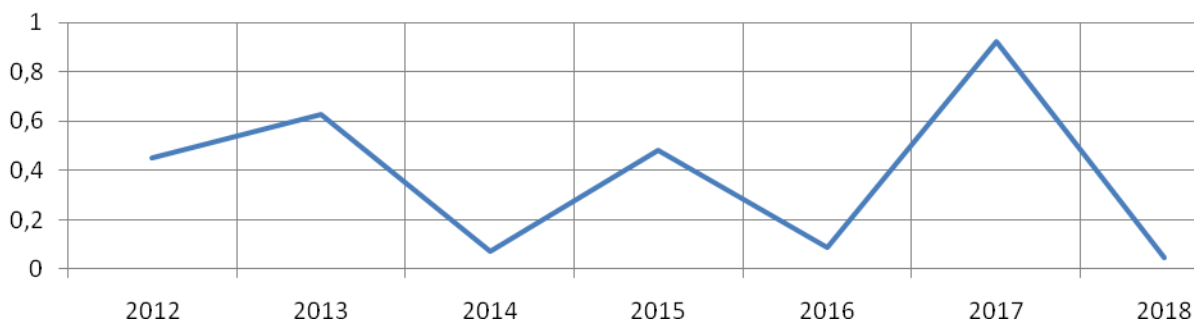


Рис. 4. Динаміка розподілу оціночних складових фінансового ряду з фрактальними властивостями

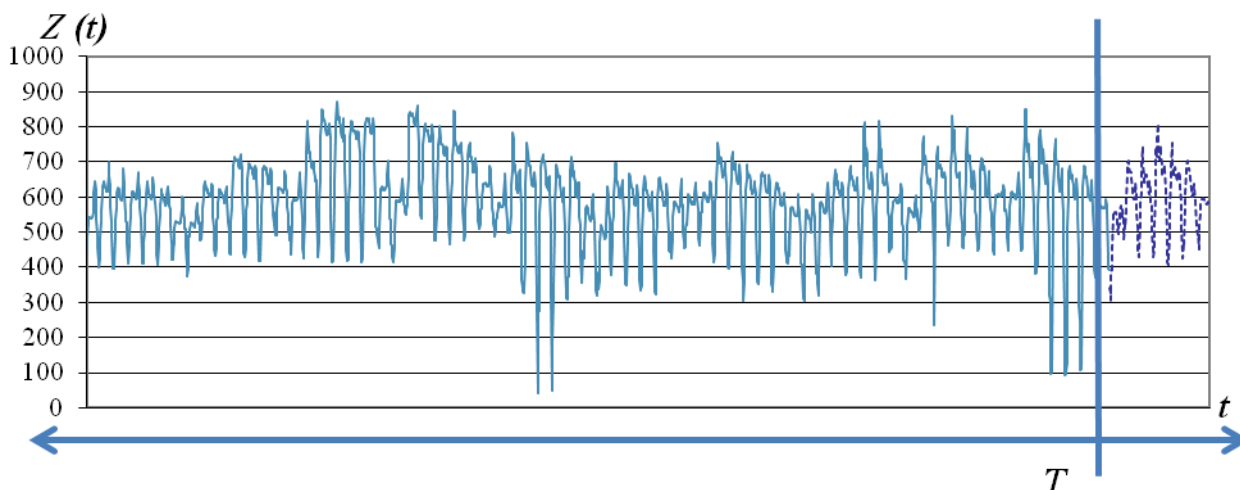


Рис. 5. Діаграма розподілу часового ряду з фрактальними властивостями. Прогнозні значення

Проведемо аналіз отриманих результатів, тобто отримані результати відповідно до інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів порівняємо з методами прогнозування часових рядів, що на сьогодні є найбільш затребувані [31, 32] на предмет ефективності роботи системи (рис. 6).

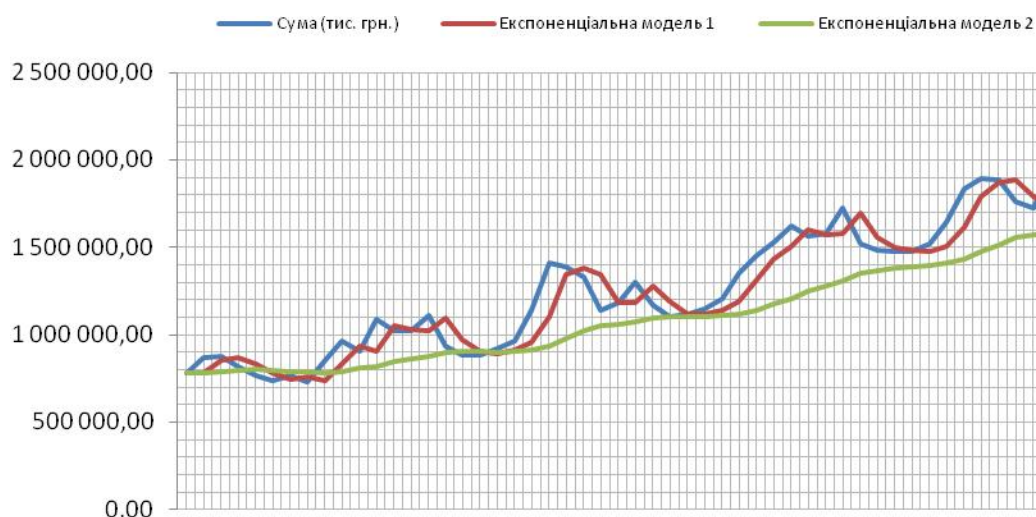


Рис. 6. Графік прогнозування

Далі виконаємо оцінку точності моделі Хольта і підберемо оптимальні коефіцієнти згладжування ряду і тренда. Метод Хольта використовується для прогнозування часових рядів, коли є тенденція до зростання або падіння значень часового ряду (рис. 7).

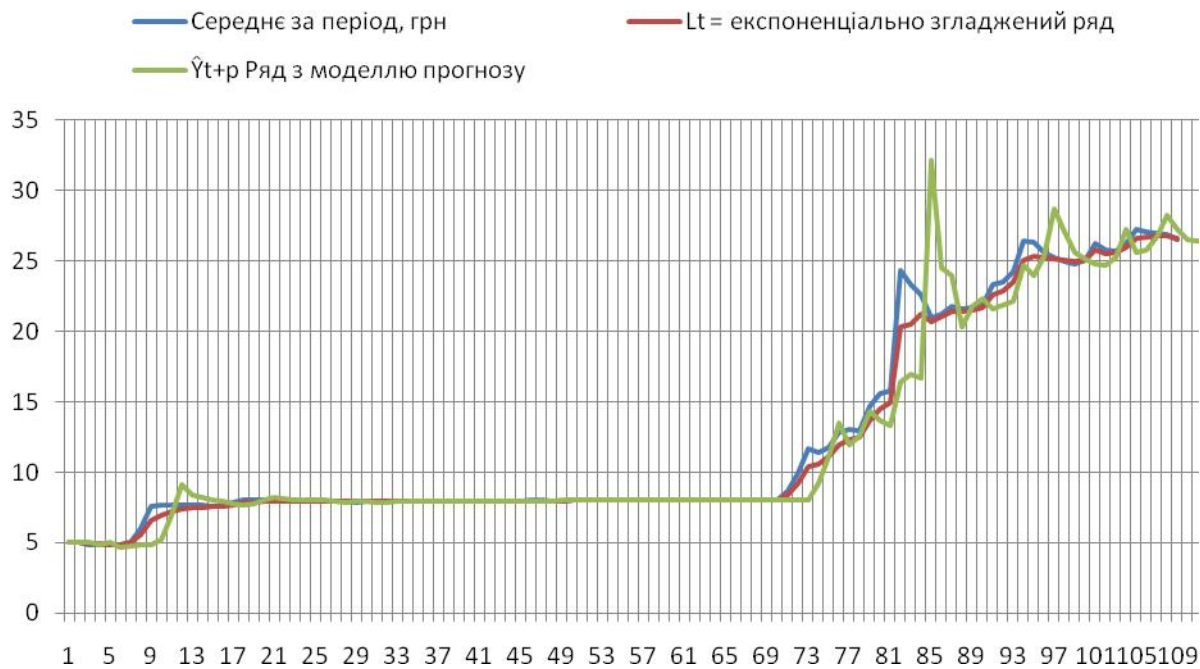


Рис. 7. Графік прогнозування

Інформаційна технологія для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями є універсальною та дозволяє адаптувати процес планування прогнозу фінансових часових рядів до рівня сформованості початкового ряду, на відміну від досліджених методів.

У якості параметрів досліджуються оцінки експертів щодо ефективності та параметри наведені у табл. 4. Далі на основі отриманих даних проводиться математичний аналіз та здійснюється побудова діаграм та графіків для детального розуміння ефективності розробки.

У табл. 4 показано параметри звернень, що надходять до системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, їх опис та можливі значення.

Таблиця 4. Параметри звернень

Параметр	Опис	Можливі значення
E_{ϕ}	ефективність	5-надвисока, ..., 0-низька
I_{Π}	інноваційність	1- інновація, 0-стандарт
O_{δ}	обсяги даних на прогнозування	10-макс, ..., 0-мінім.
K_{δ}	категорії даних	1,2,3...n - категорія
Π_{δ}	пріоритет	1,2,3...n - пріоритет
$R_{\text{кін}}$	кінцевий рівень вирішення	1,2,3,4 - рівні
$C_{\text{звер}}$	стан	0-відкритий, 1-закритий
K	коефіцієнт якості прогнозу	5-надвисокий, ..., 0-низький
$O_{\text{клієн}}$	оцінка клієнта	0,1,2,3,4,5

Далі складемо таблицю значень отриманих при дослідженні розробленої системи та аналогів, що прийняті до розгляду (табл. 5) та здійснюємо аналіз отриманих даних.

Метод Вінтерса використовується для прогнозування часових рядів, коли в структурі даних є сформований тренд і сезонність (рис. 8).

На основі проведеного математичного аналізу ефективності роботи інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання та без урахування останнього, системи прогнозування часових рядів на основі методів Вінтерса, Хольта та Брауна та, використовуючи шкалу Чеддока, можна зробити висновок, що найбільший вплив на ефективність мають наступні чинники.

Таблиця 5. Результати математичного аналізу

Показник	АС ПФЧР лінгвістичне моделювання		СП ЧР метод Брауна		СП ЧР метод Хольта		СП ЧР метод Вінтерса		АС ПФЧР	
	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія
E_{ϕ}	0,84	0,81	0,48	0,24	0,48	0,24	0,54	0,49	0,36	0,29
Π_n	0,42	0,21	0,48	0,24	0,48	0,24	0,48	0,24	0,42	0,21
O_b	0,84	0,96	1,4	3,6	1,12	2,09	1,2	2,4	1,44	2,61
K_d	0,84	0,96	0,54	0,49	0,4	0,4	0,9	1,05	0,76	0,81
Π_n	2,1	5,69	1,04	1,64	1,44	2,81	1,28	2,09	1,5	2,69
$P_{кин}$	0,84	0,96	0,6	0,6	0,4	0,4	0,82	1,01	0,84	0,96
$C_{звер}$	0,42	0,21	0,48	0,24	0,42	0,21	0,5	0,25	0,42	0,21
K	0,56	0,44	0,7	0,65	0,6	0,6	0,54	0,49	0,6	0,44
$O_{клиен}$	0,32	0,16	0,72	0,64	0,9	0,89	0,72	0,64	0,32	0,16

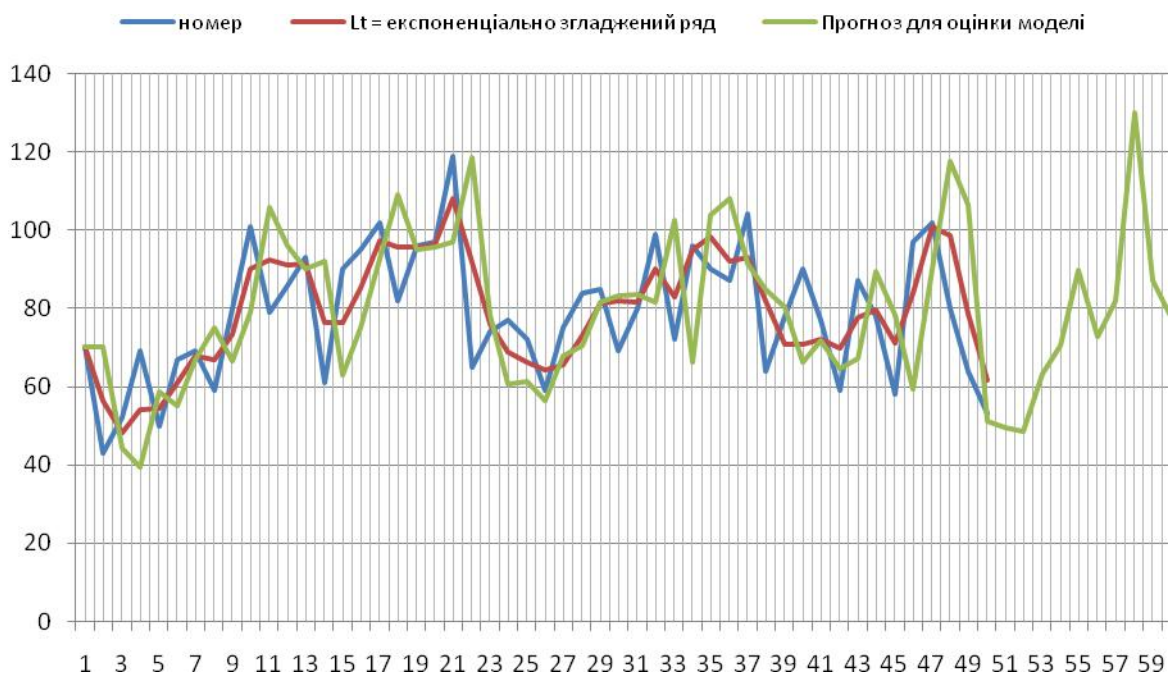


Рис. 8. Графік прогнозування

Для системи інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання:

- ефективність (E_{ϕ});
- пріоритет (Π_n);
- категорія даних (K_d);
- коефіцієнт якості прогнозування (K);
- оцінка клієнта ($O_{клиен}$).

Для системи прогнозування часових рядів на основі методу Брауна:

- ефективність (E_{ϕ});
- обсяги даних (O_{ϕ});
- категорія даних (K_{ϕ});
- кінцевий рівень вирішення ($P_{\text{кін}}$).

Для системи прогнозування часових рядів на основі методу Хольта:

- обсяги даних (O_{ϕ});
- категорія даних (K_{ϕ});
- кінцевий рівень вирішення ($P_{\text{кін}}$).

Для системи прогнозування часових рядів на основі методу Вінтерса:

- категорія даних (K_{ϕ}).

Для системи інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями:

- інноваційність (IH);
- пріоритет (Π_n);
- категорія даних (K_{ϕ});
- обсяги даних (O_{ϕ});
- кінцевий рівень вирішення ($P_{\text{кін}}$);
- стан ($C_{\text{звер}}$);
- коефіцієнт якості прогнозування (K);
- оцінка клієнта ($O_{\text{клієн}}$).

Далі до розгляду приймаємо дві системи, розроблену у рамках даної роботи інформаційну технологію для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання та найбільшого конкурента інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, оскільки інші програми виявилися не конкурентоспроможними за результатами попереднього аналізу.

Проведемо графічне порівняння двох систем за основними показниками для виявлення найбільш ефективної та досконалої системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями (рис. 9-11).



Рис. 9. Графік ефективності систем для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями

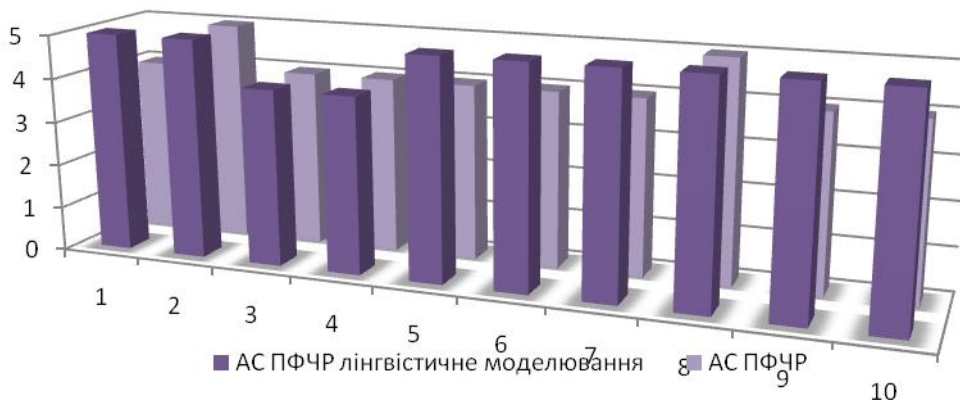


Рис. 10. Оцінка систем для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями

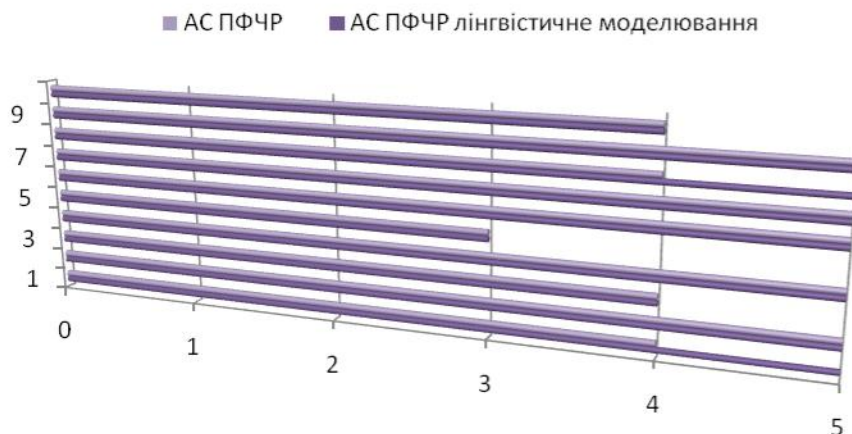


Рис. 11. Коефіцієнт якості прогнозування систем для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями

Згідно до проведеного дослідження варто відзначити, що розроблена інформаційна технологія для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання за всіма показниками перевершує своїх конкурентів/аналогів, що говорить про високу якість розробки та можливість впровадження системи в реальну роботу за потребою.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У роботі визначено ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. Проведена перевірка працездатності інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями і програмних реалізацій на реальних даних підтвердила можливість забезпечення об'єктивності під час проведення прогнозування. Використання інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями дозволить забезпечити високий рівень прогнозування з максимально повною реалізацією аналітичної системи. Дослідження трьох методів адаптивного типу показало, що модель Брауна працює тільки при невеликому горизонті прогнозування, тобто не враховується тренд і сезонні зміни. Інформаційна технологія для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями є універсальною та дозволяє адаптувати процес планування прогнозу фінансових часових рядів до рівня сформованості початкового ряду.

1. Видмант О.С. Прогнозирование финансовых временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM // Общество: политика, экономика, право, 2018. – № 5. – С.63-66.
2. Кілочичка Т.В. Генезис деяких понять нелінійної динаміки в працях вітчизняних вчених (початок ХХ ст.) // Збірник наукових праць "Вісник НТУ "ХПІ": Історія науки і техніки №10. – Вестник НТУ "ХПІ", 2013. – ISBN 2079-0074
3. Коротун С.І., Каропа Г.М. Основні поняття і категорії математичної теорії хаоса // Вісник НУВГП. Економічні науки: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 3(59). – С. 99-107.
4. Ляшенко О.І., Крицун К.І. Дослідження динаміки фондового індексу ПФТС на фінансовому ринку України на різних часових вікнах з 2001 по 2016 роки // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. – 2016. – Вип. 21. – С. 21-34.
5. Рогоза М.Є., Рамазанов С.К., Мусаєва Е.К. Нелінійні моделі та аналіз складних систем: навч. посібник в 2 ч. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – Ч. 1. – 300 с.
6. Мочерний С.В. Економічна теорія: навч. посіб. – К.: ВЦ «Академія», 2009. – 640 с.
7. Шапошнікова І.О. Аналіз часових рядів первинного ринку житлової нерухомості м. Києва // Економічний вісник університету, 2018. – Випуск № 36/1. – С. 140-147.
8. Трофименко І.В. Модель прогнозування показника надійності суднових агрегатів // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 1(55). – С. 140-145.
9. Гардер С.Є., Корніль Т.Л. Фрактальний аналіз та прогнозування тенденції фінансового часового ряду // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, 2018. – № 3 (1279). – С. 37-40.
10. Бідюк П.І., Савенков О.І., Баклан І.В. Часові ряди: моделювання і прогнозування: монографія. – К.: ЕКМО, 2003. – 144 с
11. Лопатин А.К., Черненко О.Б. Системный анализ экономических циклов Украины, России, Германии, США на фоне мирового финансового кризиса 2007 – 2009 г.г. (статистические аспекты) // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 494-500.

12. Лопатин А.К., Черненко О.Б. Статистические свойства финансового рынка Украины // Актуальные проблемы экономики. – 2006. – № 10 (64). – С. 136-149.
13. Берзлев О.Ю. Сучасний стан інформаційних систем прогнозування часових рядів // Управління розвитком складних систем. – 2013. – №1. – С. 78-82.
14. Нечипоренко А.С. Моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 "Інформаційні технології", Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2018. – 39 с.
15. Лыков И.А., Охотников С.А. Влияние изменения функции Херста на возможности экономического прогнозирования // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 1539–1544.
16. Матвійчук А.В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: монографія. – К.: КНЕУ, 2011. – 439 с.
17. Лук'яненко І.Г., Жук В.М. Аналіз часових рядів. Побудова Var і Vecm моделей з використанням пакета E.Views 6.0. – К.: НУКМА, 2013. – 176 с.
18. Koop G., Korobilis D. Bayesian Multivariate Time Series Methods for Empirical Macroeconomics. – Now Publishers Inc, 2010. – 94 p.
19. Vercellis Carlo. Business intelligence: data mining and optimization for decision making. – John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2009. – 417 p.
20. Pandit S.M., Wu, S.-M. Time series and system analysis with applications. – New York: Wiley, 1983. – 586 p.
21. Глотов Є.О., Попова О.М. Динаміка виробництва електроенергії в Україні та її прогнозування // Бізнес Інформ. – 2018. – №1. – С. 152–160.
22. Чайковська І.І. Застосування сучасних інформаційних технологій для моделювання економічних процесів на основі фрактального аналізу // Університетські наукові записки. – 2014. – № 1. – С. 378–387.
23. Найман Э. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков и макроэкономических индикаторов // Економіст. – 2009. – № 10. – С. 25–29.
24. Дубницький В.Ю. Вибір методу прогнозування вартості цінних паперів з урахуванням фрактальної вимірності ряду спостережень // Бізнес Інформ: наук. журнал. – Харків: ХНЕУ, 2011. – № 7(1). – С. 120–121.
25. Крицун К.І. Мультифрактальний аналіз динаміки фондових індексів України: ПФТС ТА UX // Ефективна економіка. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/2_2016/38.pdf
26. Imanov K.J., Fuzzy Models of Quality Assessment of Social Systems, Lambert Academic Publishing, 2013.
27. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004.
28. Ashford, Oliver M., Charnock, H., Drazin, P. G., Hunt, J. C. R. Fractals // The Collected Papers of Lewis Fry Richardson / под ред. Ashford, Oliver M. – Cambridge University Press, 1993. – Vol. 1, «Meteorology and numerical analysis». – P. 45-46. – 1016 p.
29. Старченко Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.01.03: защищена 15.02.2006.
30. Atkins P.W., Beran J.A. General Chemistry, N.Y.: Scientific American Books, 1992, 922 p.
31. Кокс Д. Ф., Браун Р. В. Информация и риск в маркетинге. – М.: Финстатистформ, 1993. ISBN 5-03-003320-3
32. Сторожилова Г.І., Демчик Я.М. Вплив параметрів моделі на точність прогнозування електроспоживання на об'єктах енергоринок // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 3. – С. 15-21.