

Євген Недашківський

МЕХАНІЗМИ ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКТАЛЬНОСТІ У ТЕРМІНАХ ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Евгений Недашковский

МЕХАНИЗМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОСТИ В ТЕРМИНАХ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Yevhen Nedashkivskyi

THE MECHANISMS FOR DETERMINING FRACTALITY IN TERMS OF LINGUISTIC MODELING

Констатовано, що фрактальні часові ряди – цілий клас фрактальних кривих, широко використовуваних під час опису й моделювання найрізноманітніших явищ. Досліджено проблему фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання в системній єдності з процесом моделювання довготривалої пам'яті, яка завершується отриманням прогнозу. Вказано, що фінансові часові ряди з фрактальною структурою відрізняються нелінійною динамікою, хаотичністю, нестаціонарністю, невизначеністю та значним рівнем зашумленості. Визначено, що побудова визначається даними лінгвістичного часового ряду генетичної пам'яті клітинного автомата. На основі проведеного дослідження зроблено висновок, що прогнозуванню повинен передувати етап аналізу для фрактального аналізу часових рядів і отримання додаткової прогнозової інформації у межах лінгвістичного моделювання.

Ключові слова: фрактальність, лінгвістичне моделювання, часовий ряд, нестабільний стан, прогноз, динамічний процес.

Рис.: 2. Бібл.: 17.

Констатировано, что фрактальные временные ряды – целый класс фрактальных кривых, широко используемых при описании и моделировании разнообразных явлений. Исследована проблема фрактальности в терминах лингвистического моделирования в системном единстве с процессом моделирования долговременной памяти и завершается получением прогноза. Указано, что финансовые временные ряды с фрактальной структурой отличаются нелинейной динамикой, хаотичностью, нестационарностью, неопределенностью и значительным уровнем зашумленности. Определено, что построение определяется данным лингвистического временного ряда генетической памяти клеточного автомата. На основе проведенного исследования сделан вывод, что прогнозированию должен предшествовать этап анализа для фрактального анализа временных рядов и получения дополнительной прогнозной информации в рамках лингвистического моделирования.

Ключевые слова: фрактальность, лингвистическое моделирование, временной ряд, нестабильное состояние, прогноз, динамический процесс.

Рис.: 2. Библ.: 17.

It is stated that fractal time series is a whole class of fractal curves widely used in describing and modeling a variety of events. The problem of fractality in terms of linguistic modeling is studied in the system unity with the process of modeling long-term memory which ends with obtaining the forecast. It was noted that financial time series with fractal structure differ by nonlinear dynamics, chaotic condition, nonstationarity, uncertainty and a significant level of noisiness. It was found out that building is determined by the data of a linguistic time series of a cell machine's genetic memory. Based on the conducted study it was concluded that prediction should be preceded by the analysis stage for fractal analysis of time series and obtaining additional forecasting information within the linguistic modeling.

Key words: fractal, linguistic modeling, time series, unstable condition, prognosis, dynamic process.

Fig.: 2. Bibl.: 17.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У часових характеристиках процесів і явищ, що протікають у середовищах із самоподобною структурою, виявляють фрактальну поведінку. Фрактальні часові ряди – цілий клас фрактальних кривих, широко використовуваних під час опису й моделювання найрізноманітніших явищ. З їх допомогою описуються такі явища, які, здавалося б, не мають нічого спільного: рух броунівської частинки, поведінка курсу обміну валют на фінансових ринках, зміна рівня води в озерах і річках тощо.

Застосування фракталів у моделюванні часових рядів, зокрема, така характеристика тимчасового ряду, як фрактальна розмірність, дозволяє визначити момент, в який система стає нестабільною і готовою перейти у новий стан.

З початку ХХІ століття актуальним питанням у дослідженнях багатьох учених [1; 2] постає моделювання природної мови та мовлення, це пов'язано, насамперед, зі стрімким розвитком прикладної лінгвістики, як наслідком постійного зростання потреб у за-

стосуванні механізмів природної мови у людино-машинних та інформаційно-комп'ютерних системах.

На основі цього спостерігається зростання кількості лінгвістичних моделей щодо вирішення головних практичних питань у різноманітних сферах застосування, що є актуальним питанням досліджень сучасних науковців.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано вирішення цієї проблеми і на які спирається автор. Стосовно лінгвістичного моделювання як спеціалізованого виду математичного моделювання варто відзначити праці: К. С. Фу [3], який розкрив основні принципи застосування структурних методів при розпізнаванні образів (1977); теорію формальних граматик досліджував Н. Хомський та Дж. Міллер (1965) [4]

Серед сучасних науковців можна відзначити роботи: А. В. Потапова [5], який застосував принцип мінімальної довжини опису в межах розпізнавання образів; Ю. І. Сенкевича [6], який запропонував та обґрунтував алгоритми, орієнтовані на ідентифікацію станів і створення класів станів природних і штучних систем за результатами лінгвістичного аналізу. Зазначив, що визначення знаходження системи в конкретному стійкому стані пов'язане з пошуком найбільш близького за складом алфавіту, що генерується системою в поточному стані, з базою раніше виділених алфавітів; О. Ю. Соколова [7], який розкриває проблему управління складними слабоформалізованими об'єктами і процесами, в яких об'єкт управління і система управління представлені за допомогою знання-орієнтованих моделей. Автор детально обґрунтовує лінгвістичну модель апроксимації складних слабоформалізованих динамічних систем як таких, що найбільш повно відображають динамічні характеристики і враховують різні типи безпосередності в описі подібних систем. М. В. Старченко [8] на основі мінімальних покриттів, запропонував новий алгоритм обчислення фрактальної розмірності, розробив метод локального фрактального аналізу, який дозволяє цілком задовільно вирішувати задачу ідентифікації локального стану досліджуваного часового ряду, запропонував нові підходи до прогнозування хаотичних часових рядів.

Проте, незважаючи на масштабність наукових розробок, на сьогодні немає універсального механізму для моделювання динамічних процесів з урахуванням фрактальності отримуваних часових рядів. Початок узагальненого підходу був викладений у роботах І. В. Баклана [9–11].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні теорія фракталів у процесі аналізу ринкової динаміки дозволяє врахувати таку властивість ринку, як самоорганізація, тому застосування згаданої теорії для вирішення питання визначення фрактальності часового ряду є актуальним.

Масштабність фінансових часових рядів з фрактальними властивостями вимагає застосування єдиного універсального механізму, який приводить до аналізу фрактальності динамічних процесів, що виникають в економічних системах. Пошук такого механізму є одним з найактуальніших завдань науки сьогодення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Навести механізми визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання. Розкрити процес побудови лінгвістичної моделі на основі часового ряду динамічного процесу. Розробити алгоритм визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. У сучасній науковій літературі часовим рядом називають послідовність вимірювань y_t , $t = [1...N]$, яка, як правило, впорядкована за часом [12].

Фінансовий часовий ряд – це послідовність, що описує поведінку певного ринкового процесу [13]. У роботах [14; 15] було проведено аналіз деяких фінансових рядів і по-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

казано, що багато які з них мають кінцеву ємність. Таким чином, ці ряди можуть бути описані звичайним диференціальним рівнянням кінцевого порядку.

Застосування фракталів у моделюванні часових рядів, зокрема, така характеристика тимчасового ряду, як фрактальна розмірність, дозволяє визначити момент, в який система стає нестабільною і готовою перейти у новий стан. Фрактальна розмірність у класичному розумінні – це число, яке кількісно описує те, як об'єкт, процес заповнює простір. Існує багато способів розрахунку фрактальної розмірності. Всі вони мають у своїй основі підрахунок об'єму або площі фрактального утворення в тому самому просторі, де виникає це утворення [10].

Фрактальна розмірність є показником складності процесу, за величиною якої можна передбачати поведінку системи і діагностувати нестабільні стани. Фрактальний аналіз часових рядів враховує поведінку системи не тільки на певний момент, але і його передісторію. Механізм побудови моделі динамічних процесів, які можуть мати фрактальні властивості застосування лінгвістичного моделювання, описано у [10]. Сам процес побудови лінгвістичної моделі на основі часового ряду динамічного процесу відбувається за таким алгоритмом (рис. 1) [16].



Рис. 1. Процес побудови лінгвістичної моделі на основі часового ряду динамічного процесу

Необхідність у моделюванні виникає там, де об'єкт науки недоступний для безпосереднього спостереження. Відповідно до мети дослідження, відображаючи істотні властивості оригіналу і відволікаючись від несуттєвого, модель виступає як специфічна форма реалізації абстракції. Водночас, від характеру моделювання повною мірою залежить весь процес перенесення знань з моделі на оригінал.

Головним завданням моделювання є розкриття основної суті моделі, її структурної залежності та формалізованої упорядкованості. Алгоритмом реалізації цього завдання постає висунення гіпотези про можливий зміст об'єкта на основі вхідних та вихідних залежностей.

Коли в результаті визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання часового ряду отримано лінгвістичні ланцюжки, важливим моментом є оцінювання фрактальності отриманого результату.

У лінгвістичному моделюванні використання математичних методів є дуже важливим. Під моделлю розуміється не лише математична система, але й деяка типова конструкція, яка є зразком для утворення. Фундаментальна роль лінгвістичних моделей полягає в тому, що вони допомагають виявляти закономірності, встановлювати взаємозв'язки і взаємозалежності між фактами [17].

Таким чином, з математичного погляду за наявності часового ряду, що описує динамічний процес:

$$\{y_t\}_{t=1, \overline{N}} \quad (1)$$

фрактальна розмірність буде прагнути до 2, у випадку, коли значення часового ряду незалежне, фрактальна розмірність < 2 .

Лінгвістичний ланцюжок

$$M = \{m_1, \dots, m_n\}, \quad (2)$$

$$\mu(m_n) = f(n), \quad (3)$$

де f – деяка функція від індексу.

Тоді фрактальність лінгвістичного ряду.

$$D = 2 - H, \quad (4)$$

$$H = \frac{\lg\left(\frac{R}{S}\right)}{\lg\left(\frac{n}{2}\right)}, \quad (5)$$

де R – максимальний розмах ряду, що досліджується
 $R = \max\{\mu(m_n) | m_n \in A\} - \min\{\mu(m_n) | m_n \in A\}$;

S – середньоквадратичне лінгвістичне відхилення лінгвістичного ряду,

n – кількість досліджень.

Алгоритм визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання реалізується в системній єдності з процесом моделювання довготривалої пам'яті і завершується отриманням прогнозу, включаючи валідацію (оцінювання похибки результату). Механізм його реалізації складається з таких шести етапів рис. 2.



Рис. 2. Механізм реалізації алгоритму визначення фрактальності у термінах лінгвістичного моделювання

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Перший етап застосовується на предмет виявлення наявності або відсутності важких хвостів, трендів, циклічних або сезонних компонент й ін.

Другий етап трактується метою встановлення в ньому довготривалої пам'яті, включаючи оцінку її глибини, а також виявлення в поведінці часових рядів таких характеристик і тенденцій, як трендостійкість або, навпаки, хаотичність, персистентність або антиперсистентність та ін. Обчислювальна частина фрактального аналізу базується на алгоритмі R/S-аналізу. Оцінки, одержувані на виході цього етапу, мають числову природу: найбільш адекватним є їх уявлення в термінах і поняттях нечітких множин.

Наступний етап необхідний для забезпечення можливості застосувати квазігенетичний алгоритм, що працює з комбінаторними конфігураціями.

Побудова визначається даними лінгвістичного часового ряду генетичної пам'яті клітинного автомата.

П'ятий етап застосовується для розглянутих часових рядів і лінгвістичних часових рядів за допомогою реалізації «м'яких обчислень» на базі побудованої пам'яті, тобто отримання прогнозу у вигляді нечіткої лінгвістичної безлічі та перетворення нечіткої лінгвістичної безлічі в числову нечітку множину, яку за необхідності за допомогою процедури дефазифікації можна перевести в чіткий числовий прогноз.

Останній етап отримання оцінок похибки для отриманого прогнозу для даних часових рядів і лінгвістичних часових рядів.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку. Сучасний ринок характеризується самоорганізацією та носить нелінійний характер, що спонукає до пошуку альтернативних методів моделювання із застосуванням нестандартних математичних апаратів. Моделювання встановлює певне ставлення між моделлю і її оригіналом або приписує властивості моделі модельованого об'єкта у процесі спеціального теоретичного аналізу або експерименту. Фінансові часові ряди з фрактальною структурою відрізняються нелінійною динамікою, хаотичністю, нестаціонарністю, невизначеністю та значним рівнем зашумленості. У контексті сформованих до цього часу методів економіко-математичного прогнозування часових рядів можна стверджувати, що прогнозуванню повинен передувати етап аналізу, з цього актуальним є твердження, що чим краще початковий аналіз та отримані характеристики, тим краще результати прогнозування стосовно фрактального аналізу часових рядів для отримання додаткової прогнозної інформації у межах лінгвістичного моделювання.

Перспективи подальших розвідок у цьому напрямку дослідження базуються на побудові лінгвістичних моделей часових рядів з детальним відокремленням процедури прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями.

Список використаних джерел

1. *Лосев А. Ф.* Введение в общую теорию языковых моделей / А. Ф. Лосев ; под ред. И. А. Василенко. – 3-е изд. – М. : Эдиториал УРСС, 2010. – 296 с.
2. *Корпусна лінгвістика* : монографія / В. А. Широков, О. В. Бугаков, Т. О. Грязнухіна, О. М. Костишин, М. Ю. Кригін ; НАН України, Укр. мов.-інформ. фонд. – К. : Довіра, 2005. – 472 с.
3. *Фу К. С.* Структурные методы в распознавании образов / К. С. Фу ; пер. с англ. – М. : Мир, 1977. – 320 с.
4. *Хомский Н.* Введение в формальный анализ естественных языков : пер с англ. / Н. Хомский, Дж. Миллер. – М. : Едиториал, 2003. – 64 с.
5. *Потапов А. С.* Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – СПб. : Политехника, 2007. – 548 с.
6. *Сенкевич Ю. И.* Алгоритмы лингвистического анализа динамических систем / Ю. И. Сенкевич // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Электронно-вычислительная техника. – 2007. – Вып. 4. – С. 88–96.

7. Соколов А. Ю. Синтез оптимального управления лингвистическими динамическими системами / А. Ю. Соколов // *Праці п'ятої української конференції з автоматичного управління (Автоматика 98)*. – К. : КПІ, 1998. – Ч. 1. – С. 356–363.
8. Старченко Н. В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов : дис. ... канд. физ-мат. Наук : спец. 01.01.03 / Старченко Николай Викторович. – М., 2005. – 122 с.
9. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти / І. В. Баклан // *Системні технології*. – 2011. – № 3. – С. 10–19.
10. Баклан І. В. Фрактальні властивості при лінгвістичному моделюванні динамічних процесів / І. В. Баклан // *Вісник Херсонського національного техн. ун-ту*. – 2015. – Вип. 3 (54). – С. 210–213.
11. Баклан І. В. Інтервальний підхід до побудови лінгвістичної моделі / І. В. Баклан // *Системні технології*. – 2013. – Вип. 3 (86). – С. 3–8.
12. Сизов А. А. Модели, способы и программные средства поддержки принятия решений на основе прогнозирования временных рядов с переменной структурой : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.17 / Сизов Александр Александрович. – М., 2014. – 141 с.
13. Бредихин А. А. Временные ряды с переменной дисперсией и финансовые рынки России / А. А. Бредихин, А. Ю. Лоскутов // *Анализ риска*. – 1998. – Т. 1, № 1. – С. 28–45.
14. Малинецкий Г. Г. Нелинейная динамика и проблемы прогноза / Г. Г. Малинецкий, С. П. Курдюмов // *Вестник РАН*. – 2001. – Т. 71, № 3. – С. 44–46.
15. Vera, A.K., Higgins, M.L.. ARCH models: properties, estimation and testing. – *J. Econ. Surveys*, 1993. – Vol. 7.
16. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання часових рядів / І. В. Баклан, Є. А. Недашківський // *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої дню космонавтики (12 квітня 2016 р., Херсон) / під ред. В. В. Марасанова та ін.* – Херсон : ХНТУ, 2016. – С. 11–14.
17. Коптілов В. В. Число і слово / В. В. Коптілов, Ф. О. Нікітіна. – К. : Наукова думка, 1966. – 108 с.

References

1. Losev, A.F., Vasilenko, I.A. (ed.) (2010). *Vvedenie v obshchuiu teoriiu yazykovykh modelei* [Introduction to a General Theory of Linguistic Models]. Moscow: Editorial URSS (in Russian).
2. Shyrovkov, V.A., Buhakov, O.V., Hriaznukhina, T.O., Kostyshyn, O.M., Kryhin, M.Yu. (2005). *Korpusna linhvistyka* [Corpus Linguistics]. Kyiv: Dovira (in Ukrainian).
3. Fu, K.S. (1977). *Strukturnye metody v raspoznavanii obrazov* [Structural Methods in Recognizing Images] (Trans.). Moscow: Mir (in Russian).
4. Khomskii, N., Miller, Dzh. (2003). *Vvedenie v formalnyi analiz estestvennykh yazykov* [Introduction to Formal Analysis of Natural Languages]. Moscow: Editorial (in Russian).
5. Potapov, A.S. (2007). *Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vospriiatie: obshchii pokhod na osnove printsipa minimalnoi dliny opisaniia* [Image Recognition and Machine Perception: General Approach on the Basis of Minimum Description Length]. Saint-Petersburg: Politehnika (in Russian).
6. Senkevich, Yu.I. (2007). *Algoritmy lingvisticheskogo analiza dinamicheskikh sistem* [Algorithms for the Linguistic Analysis of Dynamical Systems]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Elektronno-vychislitelnaia tekhnika – Problems of Radioelectronics. Series: Electronic Computing Machinery*, vol. 4, pp. 88–96 (in Russian).
7. Sokolov, A.Yu. (1998). *Sintez optimalnogo upravleniia lingvisticheskimi dinamicheskimi sistemami* [Synthesis of Optimal Control of Linguistic Dynamic Systems]. *Pratsi piatoi ukrainskoi konferentsii z avtomatychnoho upravlinnia (Avtomatyka 98) – Works of the Fifth Ukrainian Conference on Automatic Control*, part 1, pp. 356–363 (in Russian).
8. Starchenko, N.V. (2005). *Indeks fraktalnosti i lokalnyi analiz khaoticheskikh vremennykh riadov* [Fractality Index and Local Analysis of Chaotic Time Series]. *Candidate's thesis*. Moscow (in Russian).
9. Baklan, I.V. (2011). *Linhvistychnne modeliuвання: osnovy, metody, deiaki prykladni aspekty* [Linguistic Modeling: Fundamentals, Techniques, Some Practical Aspects]. *Systemni tekhnolohii – System Technology*, no. 3, pp. 10–19 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Baklan, I.V. (2015). Fraktalni vlastyivosti pry linhvistychnomu modeliuvanni dynamichnykh protsesiv [Fractal Properties in Linguistic Modeling of Dynamic Processes]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhn. un-tu – Bulletin of Kherson National Technical University*, vol. 3 (54), pp. 210–213 (in Ukrainian).
11. Baklan, I.V. (2013). Intervalnyi pidkhid do pobudovy linhvistychnoi modeli [Interval Approach to Building a Linguistic Model]. *Systemni tekhnolohii – System Technology*, vol. 3 (86), pp. 3–8 (in Ukrainian).
12. Sizov, A. A. (2014). Modeli, sposoby i programmnye sredstva podderzhki priniatiia reshenii na osnove prognozirovaniia vremennykh riadov s peremennoi strukturoi [Models, Methods and Software for Decision-Making Support Based on Prediction of Time Series with Variable Structure]. *Candidate's thesis*. Moscow (in Russian).
13. Bredihin, A.A., Loskutov, A.Yu. (1998). Vremennye riady s peremennoi dispersiei i finansovye rynki Rossii [Time Series with Variable Variance and Financial Markets of Russia]. *Analiz riska – Risk Analysis*, issue 1, no. 1, pp. 28–45 (in Russian).
14. Malinetskii, G.G., Kurdiunov, S.P. (2001). Nelineinaia dinamika i problemy prognoza [Nonlinear Dynamics and Forecast Problems]. *Vestnik RAN – Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, issue 71, no. 3, pp. 44–46 (in Russian).
15. Bera, A.K., Higgins, M.L. (1993). *ARCH models: properties, estimation and testing*. J. Econ. Surveys, vol. 7.
16. Baklan, I.V., Nedashkivskiy, Ye.A. (2016). Linhvistychno modeliuvannia chasovykh riadiv [Linguistic Modeling of Time Series]. Proceedings from *Materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh z avtomatychnoho upravlinnia prysviachenoi dnu kosmonavtyky – Materials IV Ukrainian scientific conference of students and young scientists with automatic control of space dedicated to the Day* (Kherson, April 12, 2016) (Marasanov V.V. (ed.) et al.). Kherson: KhNTU, pp. 11–14 (in Ukrainian).
17. Koptilov, V.V., Nikitina, F.O. (1966). *Chyslo i slovo [The Number and the Word]*. Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).

Недашківський Євген Анатолійович – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Недашковский Евгений Анатольевич – аспірант, Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Nedashkivskiy Yevhen – PhD student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: e.niedaszkowski@yandex.ua