

Недашківський Є.А.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОГНОЗУВАННЯ
ТИМЧАСОВИХ РЯДІВ З ФРАКТАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ
НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

У роботі розглянуті та розроблені теоретико-методологічні аспекти прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. Проведений аналіз прогнозування фінансового часового ряду на основі лінгвістичного моделювання, який передбачає масштабування часового ряду та виділення корозмірності, показав, що необхідно здійснювати укрупнення економічних показників шляхом їх об'єднання в групу. Формування симетрії масштабування фінансового часового ряду виробляється з метою отримання числових показників перетворень, а також оцінки ступеня порушення симетрії. Особливості запропонованих теоретико-методологічних аспектів прогнозування дозволяють аналізувати та прогнозувати фінансові часові ряди в умовах, коли методи, які використовують окремо апарат математичної статистики або інформаційних технологій, виявляються малоефективними. На основі описаних методів аналізу та прогнозування будуються загальні теоретико-методологічні аспекти, що направлені на формування програмного додатку.

Ключові слова: прогнозування, фінансові часові ряди, лінгвістичне моделювання, фрактальні властивості, інформаційні технології.

Постановка проблеми. Структуризація та формалізація математичних моделей, їх популярність та всебічне застосування призвело до того, що сьогодні не тільки точні фундаментальні науки базуються на концепціях математичних моделей, а й природні та абстрактні науки спираються на механізми теорії динамічних систем. Здійснюється аналіз складних систем, що своєю чергою спонукає до породження часових рядів. При цьому необхідно зауважити, що завжди присутній принцип ієрархічності, який підштовхує до пошуку нової парадигми, в тому числі і на основі нелінійної динаміки. Завдання прогнозування поведінки складних динамічних систем, особливо в економіці і соціальній сфері є таким, що важко формалізується. Сутність прогнозування ґрунтується на виявленні прихованих закономірностей в накопичених даних [1].

В економічній теорії проблема аналізу накопичених даних криється в складності опису ринкових систем, заснованих на фінансових показниках, які часто розглядаються як випадкові величини. Саме з огляду на це більшість підходів до аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями засновано на статистичних методах і моделях. 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. Здебільшого результат виникнення зовнішніх факторів здійснює вплив на динаміку часових рядів з фрактальними властивостями, а саме відбувається порушення структури, а 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 останніх досліджень і публікацій. В рамках нинішньої теорії економічних систем багато вчених пропонують спиратися на теорію динамічних систем [2] або теорію хаосу [3; 4]. Даний підхід порівняно молодий, проте спираючись на дослідження [5, 6], можна 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 належить 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 надалі 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-якої 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.

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. Оскільки зовнішні фактори здійснюють вплив на динаміку часових рядів з фрактальними властивостями з порушенням структури і незмінністю попередніх даних в силу присутності нелінійності використання методів типу MACD або ARIMA стає неефективним та викликає систематичні помилки у прогнозі.

Проблемам автоматизації системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями присвячено роботи як вітчизняних, так і зарубіжних учених [10–21]. 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 цей час основні напрями дослідження науковців спрямовані 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.

Постановка завдання. У даній статті необхідно розглянути та розробити теоретико-методологічні аспекти прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Більшість моделей описує поведінку фінансових процесів за допомогою нечітких моделей. Методи прогнозування на основі моделей нечітких часових рядів дозволяють здійснити найбільш адекватну оцінку майбутніх змін в соціально-економічних системах.

Припустимо, що є часовий ряд (x_t, y_t) , реляційна модель якого окреслюється у вигляді відношення:

$$Y = T, X,$$

де X – домен, що зберігає рівні часового ряду; T – це домен часу.

Лінгвістична модель рівнів нечіткого часового ряду $\tilde{Y}_x$ по атрибуту X , це розширення відношення Y :

$$Y_x = X, \tilde{X}, \mu_{\tilde{X}}(X),$$

де $\tilde{X}$ – абсолютна лінгвістична оцінка по ACL-шкалі рівнів; $\mu_{\tilde{X}}(X)$ – ступінь приналежності X до лінгвістичної мітки $\tilde{X}$.

Лінгвістична модель моментів часу нечіткого часового ряду $\tilde{Y}_T$ по атрибуту T , це розширення відношення Y :

$$Y_T = T, \tilde{T}, \mu_{\tilde{T}}(T),$$

де $\tilde{T}$ – абсолютна лінгвістична оцінка по ACL-шкалі моментів часу; $\mu_{\tilde{T}}(T)$ – ступінь приналежності T до лінгвістичної мітки $\tilde{T}$.

ACL-шкала задається у вигляді моделі:

$$C = \{H, \odot, \Psi\},$$

де H – загальна множина об'єктів; $\odot$ – загальна множина функцій та предикатів на множині H ; Ψ – загальна множина параметрів

Нечіткий часовий ряд $\tilde{Y}$ є наслідком реляційної операції з'єднання:

$$\tilde{Y} = Join(Y, \tilde{Y}_x, \tilde{Y}_T).$$

Звідси сформована лінгвістична модель нечіткого часового ряду:

$$\tilde{Y} = T, X, \mu_{\tilde{T}}(T), \tilde{X}, \mu_{\tilde{X}}(X).$$

У рамках даної лінгвістичної моделі домен моментів часу є ключовим показником.

Спираючись на теорему FAT (Fuzzy Approximation Theorem) [Ошибки! Источник ссылки не найден.], яка доводить, що будь-яка математична система може бути апроксимована системою, заснованою на нечіткій логіці, є можливість стверджувати, що довільний взаємозв'язок може бути нескінченно точно описаний за допомогою формалізованих висловлювань природної мови «ЯКЩО – ТО».

Здійснення переходу до моделі нечіткого часового ряду у рамках лінгвістичного представлення ліквідує проблему штучних нейронних мереж щодо форми інтерпретації отриманих результатів.

Модель нечіткої тенденції часового ряду визначається як:

$$\tau = v, \mu, \alpha, \Delta t,$$

де τ – найменування нечіткої тенденції; v – тип нечіткої тенденції; μ – ступінь приналежності нечіткої тенденції нечіткого часового ряду, яка формується на основі нечітких значень рівнів, що її утворюють; α – інтенсивність нечіткої тенденції, контекстне розширення тенденції; Δt – тривалість даного типу нечіткої тенденції.

На основі вищевикладеного часовий ряд нечітких тенденцій, побудований на нечіткому часовому ряді $\tilde{Y}$, має вигляд:

$$\tilde{Y}_t = T, \tau,$$

де $\tau = v, \mu, \alpha, \Delta t$.

Застосування лінгвістичного підходу у задачах інтелектуального аналізу часових рядів базується на рішенні задач аналізу та синтезу.

Фундаментальними фрактальними характеристиками часового ряду є показник Херста H , індекс фрактальності μ , розмірність Хаусдорфа D , спектральний показник b .

Існує дві варіації фрактальної розмірності – D і A . Так, фрактальну розмірність D (D – це оцінка ступеня злому ряду) визначають за формулою:

$$D = 2 - H.$$

Б. Мандельброт у своїй роботі [23] показав, що фрактальна розмірність є зворотною величиною від показника Херста (коефіцієнт Hurst – H). Наприклад, при $H=0,5$ фрактальна розмірність дорівнює $2(1/0,5)$, а при $H=0,8$ фрактальна розмірність дорівнює $1,25(1/0,8)$, яка позначається літерою A . Показник Херста визначається на відрізьку $[0,1]$ і розраховується у наступних межах:

– якщо $0,5 < H \leq 1$ – ціни є фракталами, підтверджується справедливність Fractal Market Hypothesis (FMH), мають місце «важкі хвости» в розподілі змінних, персистентні серії, тобто позитивна кореляція в зміні цін, присутній чорний шум, який свідчить про наявність трендів на ринку;

– якщо $H=0,5$ – ціни є випадковими, підтверджується справедливність Efficient Market Hypothesis (EMH), рух цін на фінансові активи є прикладом випадкового броунівського руху (процесу Вінера), тимчасові ряди зазвичай нормально розподілені, відсутня кореляція в зміні вартості активів (пам'ять), підтверджується наявність білого шуму;

– якщо $0 \leq H < 0,5$ – ціни є фракталами, підтверджується справедливність FMH, мають місце «важкі

хвости» в розподілі змінних, антиперсистентні серії, тобто негативна кореляція в зміні цін, рожевий шум з частими змінами напрямку руху цін.

Розрахунок показника Херста можна провести за такою формулою:

$$R/S = (aN)^H,$$

де H – показник Херста; N – число періодів спостережень; a – задана константа, позитивне число, є константою. Херст емпірично розрахував цю константу для порівняно короткострокових часових рядів природних явищ як $0,5$; S – середньоквадратичне відхилення ряду спостережень x ; R – розмах накопиченого відхилення Z_u , даний показник є найбільш важливим елементом показника Херста, його обчислюють за формулою:

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

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

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

Однак, якщо в якості константи a використовувати число $0,5$, то при невеликій кількості спостережень N показник Херста має схильність навіть на випадкових рядах оцінювати їх як персистентні, тобто як ті, що володіють трендами, завищуючи H . Тому для подальшого дослідження ринкових рядів необхідно використовувати константу $a = p/2$.

Показник Херста для часових рядів має змістовний сенс. Значення H і D показують про ступінь «злому», «зазубреності» часового ряду.

Фрактальні процеси фінансових часових рядів демонструють симетрію експонування – пропорційність співвідношень між коливаннями на різних відстанях поділу. Найбільш яким прикладом є обмінний курс, імовірно зумовлений диференціалами в реальні ставки дохідності. Тому нехай X_t – це обмінний курс, I_t – це процентна ставка, e – індекс очікування, ε_t – залишковий складник фінансового часового ряду, F – іноземна валюта. Структурне рівняння матиме вигляд:

$$X_t = \omega_0 + \omega_1 X_{t-1} + \omega_2 [(I_t - \pi_t^e) - (I_F - \pi_F^e)] + \varepsilon_t.$$

Як наголошується у [23], прийняття коефіцієнтів стохастичних процесів може призвести до нелінійної мінливості. На основі цього вираз $[(I_t - \pi_t^e) - (I_F - \pi_F^e)]$ передбачає фрактальну поведінку. Крім того, номінальні та реальні відсоткові ставки також можуть бути фрактальними, отже, різниця в реальних ставках прибутковості сама по собі є різницею двох незалежних фрактальних процесів.

Методологія моделювання часового ряду базується на розкладанні тимчасового ряду на складові компоненти і моделюванні

значень кожної компоненти окремо. Імовірнісна міра розмірності визначається за формулою: $[N(|Y_t - Y_{t-1}|) > L / N(|Y_t - Y_{t-1}|)] / L$. Частка спостережень, що знаходиться за межами порога L щодо загальної вибірки, варіюється залежно від:

$$[N(|Y_t - Y_{t-1}|) > L / N(|Y_t - Y_{t-1}|)] \approx L^d,$$

де знаком $\oplus$ позначається асимптотична рівність. У цьому сенсі розмірність – це міра ентропії або хаотичності.

Модифікацією даного методу виступає оцінка середньої неоднорідності процесу, за допомогою корозмірності C , результатом якої є різниця між розмірністю вкладення d та фрактальною розмірністю D :

$$C = D - d.$$

Якщо $C \uparrow 0$, то процес називається фрактальним. Відносини між корозмірністю і симетричним масштабуванням задаються наступними рівняннями, в яких τ – це тимчасова шкала від 1 до T , де T – найбільший часовий масштаб; ∞ – індекс; q – ряд показників масштабування. Симетрія масштабування має вигляд:

$$\mu(|Y_t - Y_{t-1}|^q) \approx [\mu(|Y_t - Y_{t-1}|^q)] [(\tau / T)^{\zeta(q)}],$$

де ζ – функція, яка включає в себе три параметри C_1, H, α :

$$\zeta(q) = qH - \left\{ [C_1 / (\alpha - 1)] (q^\alpha - q) \right\}, \text{ де } \alpha \neq 1;$$

$$\zeta(q) = qH - (C_1 q \ln q), \text{ де } \alpha = 1.$$

Параметр C_1 – кодування, пов'язане з масштабуванням засобів вибірки. Коли $C_1 = 0$, $\zeta(q)$ є лінійним трендом. Коли $C_1 \uparrow 0$, кривизна осі $\zeta(q)$ залежить від корозмірності і розподілу ймовірностей. Коефіцієнт α характеризує розподіл ймовірності. Випадок $\alpha = 2$ відповідає розподілу Гауса, тоді як $\alpha = 1$ відповідає розподілу Коші. Більшість економічних процесів показують $1 < \alpha < 2$. У цьому випадку розподіл має більш важкі хвости, ніж стандартна норма, і дисперсія змінюється в часі. Цікавою властивістю рядів, як $1 < \alpha < 2$, так і $0 < C_1 < 1$, є те, що інтеграція зазвичай не призводить до згладжування. Натомість інтеграл буде показувати дискретні стрибки.

Модель переходу стану для валютного курсу може бути вказана як:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)] + \omega_3 S_{Et} X_t + \omega_4 S_{Et} [(I_t - \pi_t^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)] + \varepsilon_t$$

Стан передбачається ітеративно на основі регресії:

$$S_{Et+1} = \omega_0 + \omega_1 S_{Et} + \omega_2 X_t + \omega_3 (X_t - X_{t-1}) + \varepsilon_t,$$

де швидкість зміни, а також рівень обмінного курсу включений на фактичну ціну на золото на тій підставі, що у практичних застосуваннях це було знайдено для поліпшення результатів.

Для прогнозованої швидкості змін існує симетрія відносно останнього відставання:

$$(X_{t+1} - X_t) = \lambda_{1t} (X_{t+1} - X_{t-1}),$$

де λ_{1t} – коефіцієнт пропорційності, числовий коефіцієнт позначає відстань поділу на ФНЗ, а t – коефіцієнт вказує на зміну часу. Аналогічним чином для темпів змін:

$$(X_t - X_{t-1}) = \lambda_{2t} (X_t - X_{t-2});$$

рішення для λ_{2t} :

$$\lambda_{2t} = [(X_t - X_{t-1}) / (X_t - X_{t-2})].$$

Модель прогнозування для загального процесу:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)] + \omega_3 \lambda_{2t} + \varepsilon_t.$$

Оскільки більшість структурних рівнянь в макроекономіці не передбачають довгострокової фрактальності, є необхідність використання структурного рівняння і побудови шкали коефіцієнтів для залишкової частини:

$$(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) = \gamma_{2t} (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-2}); \quad \gamma_{2t} = [(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) / (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-2})],$$

де γ_{2t} – коефіцієнт пропорційності для залишку. Таким чином, модель прогнозування матиме наступний вигляд:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)] + \omega_3 \gamma_{2t} + v_t,$$

де v_t – залишок від цієї регресії.

Основним недоліком моделей є те, що коефіцієнти шкали відомі тільки для поточного періоду, тому розумним рішенням є введення коефіцієнту масштабування у два компоненти, систематичний процес і залишок. Нехай γ_{2St} позначає системну компоненту у γ_{2t} . Зазвичай прогнозист не знає форми цієї компоненти, але може оцінити її за допомогою регресії по лагах:

$$\gamma_{2St} = \omega_0 + \omega_1 \gamma_{2St-1} + \omega_2 \gamma_{2St-2} + v_t.$$

Прогнозоване значення γ_{2St+1} потім включається в рівняння прогнозування. Тоді отримаємо:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)] + \omega_3 \gamma_{2St+1} + v_t.$$

Оцінка фрактальних параметрів заснована на масштабуванні логічних засобів абсолютних логічних різниць щодо збільшення відстаней поділу. По суті, це зв'язок між симетрією масштабування і функцією $\zeta(q)$. Індекс фрактальності є локальною фрактальною характеристикою фінансового часового ряду.

Висновки. У роботі розглянуті та розроблені теоретико-методологічні аспекти прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. На прикладі аналізу та прогнозування фінансового часового ряду на основі лінгвістичного моделювання, який передбачає масштабування часового ряду та виділення корозмірності, показано, що агрегування фінансового часового ряду здійснюється з метою укрупнення економічних показників шляхом їх

об'єднання в групу. Формування симетрії масштабування фінансового часового ряду виробляється з метою отримання числових показників перетворень, а також оцінки ступеня порушення симетрії. Особливості запропонованих теоретико-методологічних аспектів прогнозування дозволяють аналізувати та прогнозувати фінансові часові

ряди в умовах, коли існуючі методи, які використовують окремо (апарат математичної статистики або інформаційних технологій), виявляються малоефективними. На основі описаних методів аналізу та прогнозування будуються загальні теоретико-методологічні аспекти, що направлені на формування програмного додатку.

Список літератури:

1. Видмант О.С. Прогнозирование финансовых временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM. *Общество: политика, экономика, право*. 2018. № 5. С. 63–66.
2. Кілочицька Т.В. Генезис деяких понять нелінійної динаміки в працях вітчизняних вчених (початок ХХ ст.). *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Історія науки і техніки. Харків, 2013. № 10. С. 57–63.
3. Коротун С.І., Каропа Г.М. Основні поняття і категорії математичної теорії хаосу. *Вісник НУВГП. Економічні науки*. 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. Київ: ВЦ «Академія», 2009. 640 с.
7. Шапошнікова І.О. Аналіз часових рядів первинного ринку житлової нерухомості м. Києва. *Економічний вісник університету*. Переяслав-Хмельницький, 2018. № 36/1. С. 140–147.
8. Трофименко І.В. Модель прогнозування показника надійності суднових агрегатів. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. Харків, 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»*. Математичне моделювання в техніці та технологіях, Харків, 2018. № 3 (1279). С. 37–40.
10. Бідюк П.І., Савенков О.І., Баклан І.В. Часові ряди: моделювання і прогнозування : монографія. Київ : ЕКМО, 2003. 144 с.
11. Берзлев О.Ю. Сучасний стан інформаційних систем прогнозування часових рядів. *Управління розвитком складних систем*. 2013. №1. С. 78–82.
12. Нечипоренко А.С. Моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення розладнань в нестаціонарних квазіперіодичних процесах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2018. 39 с.
13. Лук'яненко І.Г., Жук В.М. Аналіз часових рядів. Побудова Var і Vecm моделей з використанням пакета EViews 6.0. Київ : НУКМА, 2013. 176 с.
14. Koop G., Korobilis D. Bayesian Multivariate Time Series Methods for Empirical Macroeconomics. Now Publishers Inc, 2010. 94 p.
15. Vercellis Carlo. Business intelligence: data mining and optimization for decision making. John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2009. 417 p.
16. Pandit S.M., Wu, S.-M. Time series and system analysis with applications. New York: Wiley, 1983. 586 p.
17. Глотов Є.О., Попова О.М. Динаміка виробництва електроенергії в Україні та її прогнозування. *Бізнес Інформ*. Харків, 2018. № 1. С. 152–160.
18. Чайковська І.І. Застосування сучасних інформаційних технологій для моделювання економічних процесів на основі фрактального аналізу. *Університетські наукові записки*. Харків, 2014. № 1. С. 378–387.
19. Найман Э. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков и макроэкономических индикаторов. *Економіст*. 2009. № 10. С. 25–29.
20. Дубницький В.Ю. Вибір методу прогнозування вартості цінних паперів з урахуванням фрактальної вимірності ряду спостережень. *Бізнес Інформ*. Харків : ХНЕУ, 2011. № 7(1). С. 120–121.
21. Крицун К.І. Мультифрактальний аналіз динаміки фондових індексів України: ПФТС ТА UX. *Ефективна економіка*. 2016. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/2_2016/38.pdf (дата звернення: 17.03.2019).
22. Imanov K.J. Fuzzy Models of Quality Assessment of Social Systems, Lambert Academic Publishing, 2013.
23. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы. Москва : Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. 234 с.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ФРАКТАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе рассмотрены и разработаны теоретико-методологические аспекты прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами на основе лингвистического моделирования. Проведенный анализ и прогнозирование финансового временного ряда на основе лингвистического моделирования, предусматривающий масштабирование временного ряда и выделения коразмерности, показал, что необходимо осуществлять укрупнение экономических показателей путем их объединения в группу. Формирование симметрии масштабирования финансового временного ряда производится с целью получения числовых показателей преобразований, а также оценки степени нарушения симметрии. Особенности предложенных теоретико-методологических аспектов прогнозирования позволяют анализировать и прогнозировать финансовые временные ряды в условиях, когда существующие методы, которые используют отдельно аппарат математической статистики или информационных технологий, оказываются малоэффективными. На основе описанных методов анализа и прогнозирования строятся общие теоретико-методологические аспекты, направленные на формирование программного приложения.

Ключевые слова: прогнозирование, финансовые временные ряды, лингвистическое моделирование, фрактальные свойства, информационные технологии.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF FORECASTING TIME SERIES WITH FRACTAL PROPERTIES BASED ON LINGUISTIC MODELING

The paper reviewed and developed the theoretical and methodological aspects of forecasting time series with fractal properties based on linguistic modeling. The analysis and forecasting of financial time series based on linguistic modeling, providing for the scaling of the time series and the allocation of co-dimension, showed that it is necessary to consolidate economic indicators by grouping them together. The formation of symmetry scaling financial time series is made in order to obtain numerical indicators of transformations, as well as assessing the degree of symmetry breaking. The features of the proposed theoretical and methodological aspects of forecasting make it possible to analyze and predict financial time series under the conditions when existing methods that use separately the apparatus of mathematical statistics or information technology prove to be ineffective. On the basis of the described methods of analysis and forecasting, general theoretical and methodological aspects are built to form a software application.

Key words: forecasting, financial time series, linguistic modeling, fractal properties, information technology.