

УДК 519.766.4:004.942

Є.А. Недашківський
ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА
ПРОГНОЗУВАННЯ ФІНАНСОВИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ

У роботі виконана програмна реалізація інформаційної технології для аналізу та прогнозування фінансових часових рядів на основі лінгвістичного моделювання. Здійснено проектування програми для аналізу та прогнозування фінансових часових рядів на основі лінгвістичного моделювання, яка дозволяє здійснювати виконання аналізу фінансових часових рядів різного виду, автоматизацію процесу виведення результату, автоматизацію процесу проведення аналізу та прогнозування фінансових часових рядів.

Ключові слова: програмна реалізація, фінансові часові ряди, лінгвістичне моделювання, інформаційна технологія, фрактальний аналіз.

Е.А. Недашковский
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ
ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе выполнена программная реализация информационной технологии для анализа и прогнозирования финансовых временных рядов на основе лингвистического моделирования. Осуществлено проектирование программы для анализа и прогнозирования финансовых временных рядов на основе лингвистического моделирования, которая позволяет осуществлять анализ финансовых временных рядов различного вида, автоматизацию процесса вывода результата, автоматизацию процесса проведения анализа и прогнозирования финансовых временных рядов.

Ключевые слова: программная реализация, финансовые временные ряды, лингвистическое моделирование, информационные технологии, фрактальный анализ.

Y.A. Nedashkivskyi
SOFTWARE IMPLEMENTATION OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR ANALYZING
AND FORECASTING FINANCIAL TIME SERIES BASED ON LINGUISTIC MODELING

The work is carried out software implementation of information technology for analyzing and forecasting financial time series based on linguistic modeling. The developed method of quantitative assessment and visualization of the results of the assessment of groups (subgroups) of signs allows you to compare indicators and calculate a generalized indicator. For a better analysis, each indicator or measure (co-dimension, scaling of the time series, systematically, proportionality, etc.) are divided into modules that are needed to form a general forecast level. A program has been designed for analyzing and forecasting financial time series based on linguistic modeling, which allows performing analysis of financial time series of various types, automating the result output process, automating the analysis process and forecasting financial time series. The proposed model for the synthesis of the plan, analysis and forecasting of time series with fractal properties allows you to adapt the planning process of forecasting financial time series to change the tasks, the level of formation of the initial series.

Keywords: software implementation, financial time series, linguistic modeling, information technology, fractal analysis.

Постановка проблеми. В економічній теорії проблема аналізу накопичених даних криється в складності опису ринкових систем, заснованих на фінансових показниках, які часто розглядаються як випадкові величини [1]. Саме, виходячи з цього, 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.

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 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] 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-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.

В силу того, що процеси коливання фінансового ринку мають динамічний характер, механізм отримання додаткової інформації несе неоціненний вклад в точність і правильність прийнятих рішень, що вкрай важливо для більшості акціонерних компаній. Саме спираючись на дане судження, слід підкреслити, що методи аналізу часових рядів, які прийшли з нелінійної динаміки, мають пріоритетний вплив на коректний прогноз відносно ринку цінних паперів.

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.

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, 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. Koop, D. Korobilis [18], VercellisCarlo [19], Pandit S.M., Wu, S.-M [20] та ін.

Автоматизований підхід розкривають такі відомі вчені як Є.О. Глозов, 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.

Постановка завдання. У даній статті необхідно розробити програмну реалізацію інформаційної технології для аналізу та прогнозування фінансових часових рядів на основі лінгвістичного моделювання.

Викладення основного матеріалу. Автоматизована система аналізу та прогнозування фінансового часового ряду (АС ПФЧР) за допомогою лінгвістичного моделювання спрямована на рішення завдань прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, яка фактично є

експертною системою підтримки прийняття рішень (ЕСППР), що розробляється, побудована на базі інструментальної оболонки і призначена для оцінювання стану складних систем (об'єктів) за наявності значної кількості значущих чинників чи на базі системи фінансових ризиків. При цьому передбачається наявність взаємозв'язків і взаємозалежностей між чинниками, які на початку використання системи можуть бути явно не задані. Схема інформаційних зв'язків при застосуванні АС ПФЧР зображена на рис. 1.



Рис. 1. Схема інформаційних зв'язків в АС ПФЧР

АС ПФЧР є програмним комплексом (ПК), який призначено для аналізу та прогнозування фінансового часового ряду за допомогою лінгвістичного моделювання. Користувачами АС ПФЧР можуть бути особи трьох категорій: системний адміністратор і особа чи група осіб, які є кінцевими користувачами.

Складовими АС ПФЧР (рис. 2) є наступні програмні модулі:

- модуль авторизації, який використовується для надання користувачеві дозвіл на виконання певних дій, а також для підтвердження одержання цього дозволу при спробі виконати ці дії;
- модуль управління, який слугує для нагляду за цілісністю інформаційного поля та даних, що забезпечує відповідність нормам безпеки та прийнятний рівень працездатності комп'ютерів і програмного забезпечення;
- модуль обліку результатів, який виконує відповідальні функції, а саме:
 - адміністратор та користувачі можуть ознайомитися з існуючими на теперішній час нормативами;
 - користувачі можуть вибрати прийнятні на їхню думку, часові норми та ознайомитися з результатами формування прогнозної вибірки;
- модуль обробки результатів, який призначений для того, щоб оцінити результати поставленої задачі;
- модуль відображення результатів, який призначений для того, щоб особи, які є прямими користувачами системи могли ознайомитися з курсом, який діє на сьогодні, ввести свої персональні дані та потім, після закінчення дій, ознайомитися з їх результатами;

- довідкова система, яка призначена для обміну інформацією в інтерактивному режимі між усіма модулями АС ПФЧР;
- база даних, яка призначена для збереження даних (фінансових даних і результатів, паролів доступу та ін.).



Рис. 2. Узагальнена структура програмних модулів автоматизованої системи аналізу та прогнозування фінансового часового ряду

Процес управління прогнозуванням складається з процесів планування, організації, контролю, обліку та аналізування. Таким чином можна визначити місце запропонованої АС системах економічного прогнозування (рис. 3).

Принципи узгодженості, відповідності й ортогональності, економічності, повноти та відкритості, що використовувалися під час розробки АС, гарантують створення ефективного, надійного і перспективного програмного комплексу в системі економічного прогнозування.

Форма подання прогнозних значень визначається моделлю, і у випадку значень з фрактальними властивостями результат представляється у лінгвістичній формі для рівнів, типів та інтенсивностей елементарної тенденції, а для отримання числової оцінки прогнозу застосовується операція визначення характеристик кожної окремої одиниці числового ряду.

Таким чином, у запропонованій моделі є можливість отримання багаторівневого прогнозу, що включає оцінку прогнозних типів та інтенсивність елементарних тенденцій (змін), що відрізняє її від відомих моделей.

Підкреслюючи вплив ліквідності і інвестиційних горизонтів на поведінку інвесторів, гіпотеза фрактального ринку, на протиположну гіпотезі ефективного ринку, припускає, що:

- ринок стабільний, коли він складається з інвесторів, що охоплюють велику кількість інвестиційних горизонтів. Це гарантує остатню ліквідність для трейдерів;
- інформаційна складова більше пов'язана з настроєм ринку і технічними факторами у короткостроковій перспективі, ніж у більш довгостроковій перспективі. У міру збільшення інвестиційних горизонтів домінує більш довгострокова фундаментальна інформація. Таким чином, зміни ціни можуть відображати інформацію, важливу тільки для цього інвестиційного горизонту;
- якщо відбувається подія, яка ставить під сумнів дійсність фундаментальної інформації, довгострокові інвестори або припиняють участь на ринку, або починають торгувати на підставі короткострокової інформаційної безлічі. Коли загальний інвестиційний горизонт ринку скорочується до однорідного рівня, ринок стає нестабільним. Немає довгострокових інвесторів, щоб стабілізувати ринок, пропонуючи ліквідність короткостроковим інвесторам;

- ціни відображають поєднання короткострокової технічної торгівлі і довгострокової фундаментальної оцінки. Таким чином, ймовірно, що короткострокові зміни цін будуть більш волатильними або "більш гучними", ніж довгострокові. Основна тенденція на ринку відображає зміни в очікуваному доході на підставі економічного середовища, що змінюється. Короткострокові тенденції, більш ймовірно, є результатом поведінки натовпу. Нема причин думати, що довжина короткострокових тенденцій пов'язана з довгостроковою економічною тенденцією.

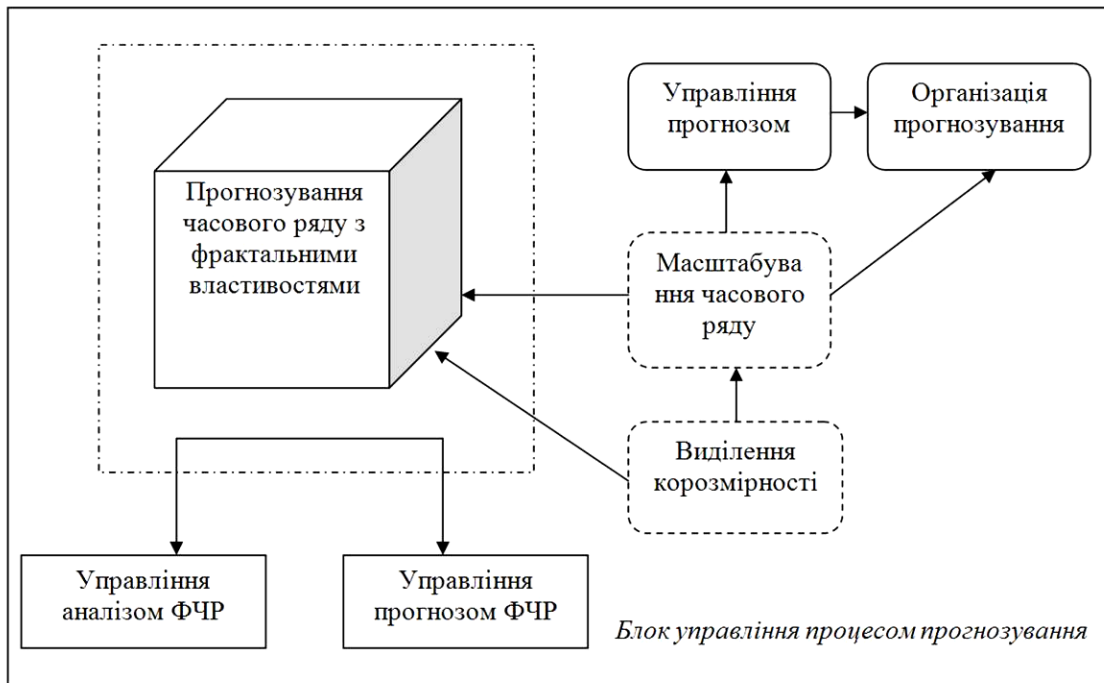


Рис. 3. Місце запропонованої АС в сучасних системах економічного прогнозування

Таким чином, на відміну від гіпотези ефективного ринку, інформація оцінюється згідно з інвестиційним горизонтом інвестора.

Оскільки різні інвестиційні горизонти оцінюють інформацію по-різному, поширення інформації також буде нерівним.

Характеристиками кожного з окремих заходів прогнозу M_i за певний час проведення $t_{M_i}^\pi$ є наступні:

- корозмірність $K_{M_i} \in K, i = \overline{1, m}$;
- пропорційність $P_{M_i} \in P, i = \overline{1, m}$;
- систематичність $S_{M_i} \in S, i = \overline{1, m}$;
- залишок Z_{M_i} .

Загальна формула обчислення рівня прогнозу $H_{M_i}^\pi$, згідно наведеного графічного представлення, має наступний вигляд:

$$H_{M_i}^\pi = f(K_{M_i}, P_{M_i}, S_{M_i}).$$

Будь-який захід M_i створює інформаційну базу з певним коефіцієнтом K (за кожною з компонент $K_{M_i}, P_{M_i}, S_{M_i}$), яка є інформаційним полем для інших заходів прогнозу

У разі комплексного прогнозу часових рядів з фрактальними властивостями, спостерігається злиття кожного з компонент $K_{M_i}, P_{M_i}, S_{M_i}$) з наступним та передуючим, за умови, що $i > 1$.

Описаний процес трансформується у залежність $H_{M_i}^{\Pi}$ відповідно до значень $K_{M_i/M}, P_{M_i/M}, S_{M_i/M}$.

З урахуванням цих факторів, зазначений вираз прийме вигляд:

$$H_{M_i/M}^{\Pi} = f(K_{M_i/M}, P_{M_i/M}, S_{M_i/M}). \quad (1)$$

Отже, враховуючи показники інформаційної бази, складеної на основі попередньо проведених заходів прогнозуванні часових рядів з фрактальними властивостями з множини M та приймаючи до уваги дію матриць суміжності коефіцієнтів взаємного впливу, які формує кожен захід прогнозу M_i , запишемо:

$$K_{M_i/M} = K_{M_i} + \sum_{j=1}^m K_{M_j} B_{K_{M_j}} \quad (2)$$

$$P_{M_i/M} = P_{M_i} + \sum_{j=1}^m P_{M_j} B_{P_{M_j}} \quad (3)$$

$$S_{M_i/M} = S_{M_i} + \sum_{j=1}^m S_{M_j} B_{S_{M_j}} \quad (4)$$

З урахуванням визначення окремих коефіцієнтів відповідно до матриць суміжності, попередній вираз запишемо як:

$$Q_{M_i/M}^{\Pi} = f\left(K_{M_i} + \sum_{j=1}^m K_{M_j} B_{K_{M_j}}, P_{M_i} + \sum_{j=1}^m P_{M_j} B_{P_{M_j}}, S_{M_i} + \sum_{j=1}^m S_{M_j} B_{S_{M_j}}\right). \quad (5)$$

Використовуючи вирази 2-5 можна визначити рівень прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями $Q_{M_i/M}^{\Pi}$ з урахуванням інформаційної бази, отриманої від проведених раніше заходів прогнозу з множини M для будь-якого заходу M_i при плануванні процесу прогнозування. В деяких випадках можемо спостерігати, що в процесі складання плану прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями без урахування моделі, що відповідає процесу формування аналізу, значення рівня прогнозу Q^{Π} є нижчим, ніж мінімальне Q_{\min}^{Π} (рис. 4).

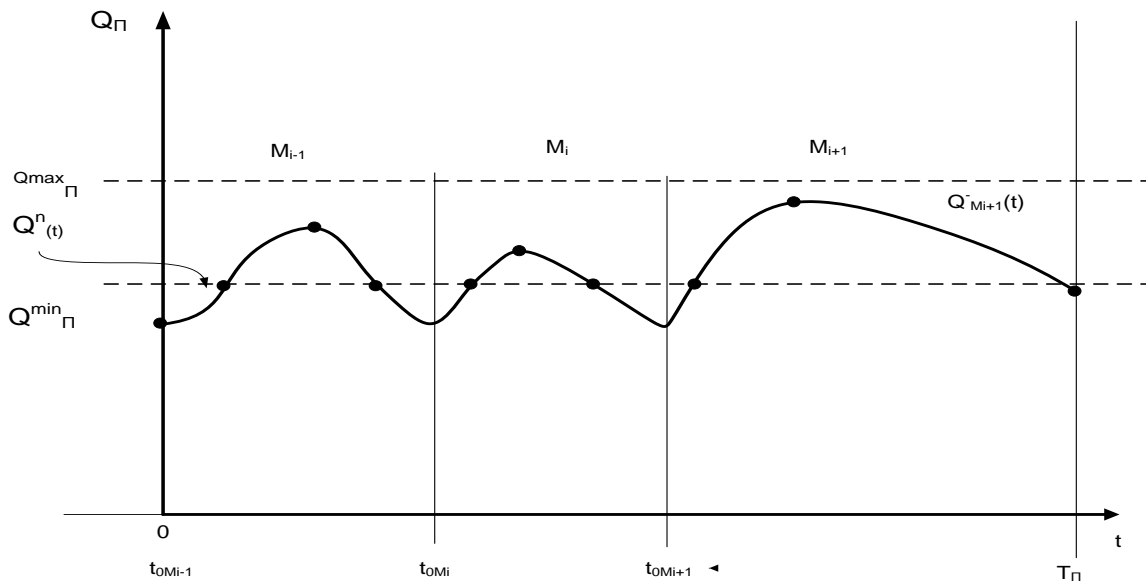


Рис. 4. Зміна рівня прогнозу Q^{Π} як функція від часу

Рівні прогнозу визначаються на основі використання запропонованої моделі формування прогнозу часових рядів з фрактальними властивостями залежно від часу – в загальному випадку: модель накопичення і втрати інформації [28].

Адаптуємо апарат теоретичних понять до термів лінгвістичного моделювання. Кожен захід M_i у плані прогнозу має час початку $t_{M_i}^0$ та тривалість заходу аналізу – час $t_{M_i}^{\Pi}$. Після проведення прогнозування її рівень збільшується на величину $Q_{M_i}^{\Pi}$ за час $t = t_{M_i}^0 + t_{M_i}^{\Pi}$. Зростання рівня прогнозу $Q_{M_i}^{\Pi}$ можна описати функцією $Q_{M_i}^{\Pi+}$. Зрозуміло, що після виконання заходу прогнозування M_i рівень достовірності прогнозу $Q_{M_i}^{\Pi}$ починає знижуватися, що відображається функцією втрат $Q_{M_i}^{\Pi-}$ (рис. 5).

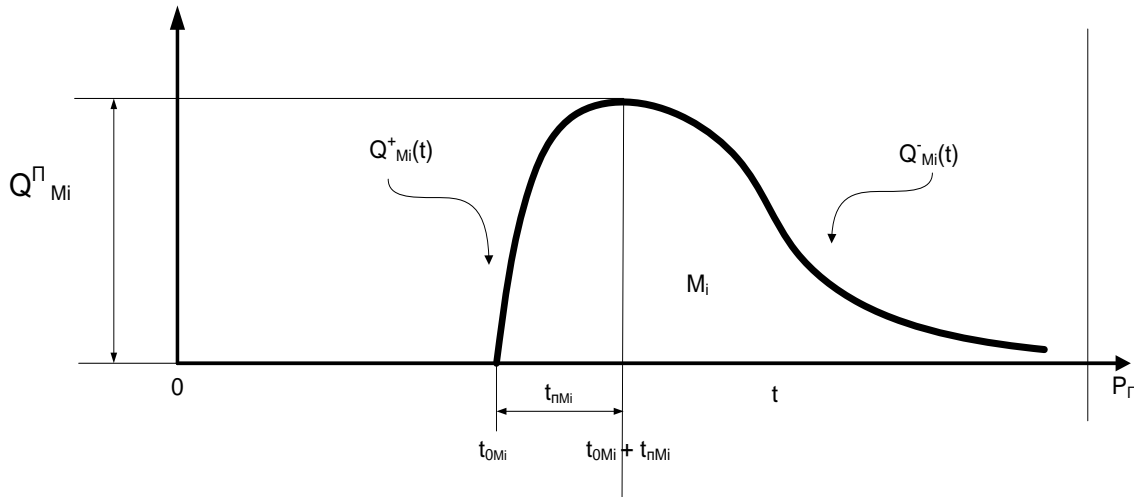


Рис. 5. Рівень достовірності прогнозу Q^{Π} часових рядів з фрактальними властивостями як функція від часу

Математична складова визначення рівня $Q_{M_i}^{\Pi}$ залежно від t :

$$Q_{M_i}^{\Pi}(t) = \begin{cases} 0, & t = t_{M_i}^0 \\ Q_{M_i}^{\Pi+}, & \text{якщо } t_{M_i}^0 < t < (t_{M_i}^0 + t_{M_i}^{\Pi}) \\ Q_{M_i}^{\Pi-}, & \text{якщо } t > (t_{M_i}^0 + t_{M_i}^{\Pi}) \end{cases} \quad (6)$$

Отже, з наведеного вище виразу (6), зробимо наступний висновок. Під час проведення M_i заходу прогнозу, рівень достовірності прогнозу Q^{Π} зростає в певний період часу $t = t_{M_i}^0$ за законом функції приросту $Q_{M_i}^{\Pi+}$ потім же Q^{Π} зменшується відповідно до функції $Q_{M_i}^{\Pi-}$.

Коли для кожного з заходів прогнозу M_i відомі функції $Q_{M_i}^{\Pi+}$, $Q_{M_i}^{\Pi-}$ і тривалість заходу $t_{M_i}^{\Pi}$, доволі просто визначити за кожним з елементів оптимальний час початку $t_{M_i}^0$, коли виконується умова $Q_{\min}^{\Pi} \leq Q^{\Pi} \leq Q_{\max}^{\Pi}$, або як мінімум $Q_{\min}^{\Pi} \leq Q^{\Pi} \leq$. При плануванні заходу обов'язково рівень $Q_{M_i}^{\Pi}$ для кожного M_i заходу вираховувати з раніше отриманих даних, що складають інформаційну базу і безпосередньо здійснюють вплив на ефективність його проведення. Такий алгоритм дозволяє підвищити рівень прогнозу часових рядів з фрактальними властивостями без зростання витрат на проведення кожного з заходів прогнозу M_i [27].

Стає цілком зрозумілим, що рівень $Q_{M_i}^{\Pi} / M$ прогнозу M_i заходів з урахуванням інформації від попередньо проведених заходів буде вищим, ніж, якщо ігнорувати отримані на попередніх етапах дані. Отже, збільшиться проміжок часу до наступного заходу в плані прогнозу. Приходимо до висновку, що $Q_{M_i}^{\Pi}$ потрібно розраховувати як $Q_{M_i}^{\Pi} / M$.

Таким чином, модель синтезу плану аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, що пропонується, дозволяє адаптувати процес планування прогнозу фінансових часових рядів до зміни завдань, рівня сформованості початкового ряду.

Висновки. У роботі представлено результати прогнозування за фактичними даними на основі запропонованої моделі прогнозування фінансових часових рядів за допомогою лінгвістичного моделювання. Наведені результати розрахунків показників якості прогнозів для лінгвістичної моделі. З наведених результатів видно, що запропонована модель дає кращий прогноз за всіма показниками.

Розроблена методика кількісного оцінювання і візуалізації результатів оцінювання груп (підгруп) ознак, яка дозволяє порівнювати показники і розраховувати узагальнений показник. Для кращого аналізу кожен показник / захід (корозмірність, масштабування часового ряду, систематичність, пропорційність, тощо) розподілений на модулі, які покликані сформулювати загальний рівень прогнозу.

Здійснено проектування програми для аналізу та прогнозування фінансових часових рядів за допомогою лінгвістичного моделювання, яка дозволяє здійснювати виконання аналізу фінансових часових рядів різного виду; автоматизацію процесу виведення результату; автоматизацію процесу проведення аналізу та прогнозування фінансових часових рядів за допомогою лінгвістичного моделювання. Модель синтезу плану аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, що пропонується, дозволяє адаптувати процес планування прогнозу фінансових часових рядів до зміни завдань, рівня сформованості початкового ряду.

Список використаних джерел:

1. Видмант О.С. Прогнозирование финансовых временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM // Общество: политика, экономика, право, 2018. – № 5. – С.63-66.
2. Кілючицька Т.В. Генезис деяких понять нелінійної динаміки в працях вітчизняних вчених (початок XX ст.) // Збірник наукових праць "Вісник НТУ "ХПІ": Історія науки і техніки №10. – Вестник НТУ "ХПИ", 2013. – ISBN 2079-0074
3. Коротун С.І., Каропа Г.М. Основні поняття і категорії математичної теорії хаосу // 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 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 судових 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 розладань 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. – 94p.
19. Vercellis Carlo. Business intelligence: data mining and optimization for decision making. – John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2009. – 417p.
20. Pandit S.M., Wu, S.-M. Time series and system analysis with applications. – New York: Wiley, 1983. – 586p.
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.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2019