

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ФАЗ НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ

Н. К. Максишко

Д-р екон. наук, професор,
завідувач кафедри економічної кібернетики
ДВНЗ «Запорізький національний університет»
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна
maxishko@ukr.net

В. О. Шаповалова

Канд. екон. наук,
асистент кафедри економічної кібернетики
ДВНЗ «Запорізький національний університет»
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна
victoria2909@mail.ru

Ринок нерухомості як важливий сегмент фінансового ринку розглянуто з точки зору гіпотези когерентного ринку, яка поєднує нелінійну детерміністичну модель і статистичну динамічну модель, а її основне припущення полягає в тому, що в динаміці ринку присутні чотири фази: випадкового блукання, нестійкого переходу, хаотичного ринку та когерентного ринку. Інформаційну базу дослідження динаміки ринку становить статистична інформація щодо середньої ціни квадратного метру нерухомого майна на вторинному ринку житлової нерухомості, а також похідний від неї часовий ряд дохідностей. У статті розроблено метод ідентифікації фаз ринку нерухомості, що базується на використанні нечіткої моделі. Загальна схема методу складається з трьох блоків: I — містить нечітку модель ідентифікації фази ринку нерухомості (обумовлена високим рівнем невизначеності динаміки ціни на ринку, її властивостями нелінійності, нестационарності тощо); II — верифікація моделі на базі співставлення результатів ідентифікації з даними експертного оцінювання; III — призначений для навчання моделі (оптимізації параметрів функцій належності, на основі яких здійснюється класифікація). Для побудови моделі обґрунтовано вибір вхідних (пояснюючих) факторів моделі, який полягає у виділенні найбільш інформативних ознак для класифікації фаз. З цією метою проаналізовані властивості динаміки дохідності нерухомого майна у фазах когерентного ринку, сформовано вимоги до кількісних показників. У результаті обрано кількісні характеристики динаміки, що отримано із застосуванням статистичного й комплексного фрактального аналізу та характеризують природу часового ряду, оцінюють його

глибину пам'яті, локальну стійкість динаміки та наявність зсувів. Побудовано базу знань моделі. Застосування побудованої моделі дозволить провести якісний аналіз поточної ситуації на ринку нерухомого майна, надати рекомендації щодо вибору релевантного інструментарію прогнозування.

Ключові слова. *Ринок нерухомості, динаміка ціни, гіпотеза когерентного ринку, фаза випадкового блукання, фаза нестійкого переходу, фаза хаотичного ринку, фаза когерентності, нечітке моделювання, комплексний фрактальний аналіз.*

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАЗ НА РЫНКЕ НЕДВИЖИМОСТИ

Н. К. Максишко

Д-р экон. наук, профессор,
заведующий кафедрой экономической кибернетики
ГВУЗ «Запорожский национальный университет»
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина
maxishko@ukr.net

В. А. Шаповалова

Канд. экон. наук,
ассистент кафедры экономической кибернетики
ГВУЗ «Запорожский национальный университет»
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина
victoria2909@mail.ru

Рынок недвижимости как важный сегмент рынка рассмотрен с точки зрения гипотезы когерентного рынка, которая объединяет нелинейную детерминистическую модель и статистическую динамическую модель, а ее основное предположение состоит в том, что в динамике рынке присутствуют четыре фазы: случайного блуждания, неустойчивого перехода, хаотичного рынка и когерентного рынка. Информационную базу исследования динамики рынка составляет статистическая информация о средней цене квадратного метра недвижимости на вторичном рынке жилой недвижимости, а также производный от нее временной ряд доходностей недвижимости. В статье разработан метод идентификации фаз рынка недвижимости, основанный на использовании нечеткой модели. Общая схема метода состоит из трех блоков: I — содержит нечеткую модель идентификации фазы рынка недвижимости (обусловлена высоким уровнем неопределенности динамики цены на рынке, ее свойствами нелинейности, нестационарности и т.п.); II — верификация модели на базе сопо-

ставления результатов идентификации данным экспертной оценки; III — предназначен для обучения модели (оптимизации параметров функций принадлежности, на основе которых осуществляется классификация). Для построения модели обоснован выбор входных (объясняющих) факторов модели, который заключается в выделении наиболее информативных признаков для классификации фаз. С этой целью проанализированы свойства динамики доходности недвижимости в фазах когерентного рынка, сформированы требования к количественным показателям. В результате избран количественные характеристики динамики, получено в результате применения статистического и комплексного фрактального анализа и характеризуют природу временного ряда, оценивают его глубину памяти, локальную устойчивость динамики и наличие оползней. Построена база знаний модели. Применение построенной модели позволит провести качественный анализ текущей ситуации на рынке недвижимого имущества, предоставить рекомендации по выбору релевантного инструментария прогнозирования.

Ключевые слова. Рынок недвижимости, динамика цены, гипотеза когерентного рынка, фаза случайного блуждания, фаза неустойчивого перехода, фаза хаотического рынка, фаза когерентности, нечеткое моделирование, комплексный фрактальный анализ.

THE FUZZY MODEL OF THE PHASE IDENTIFICATION ON THE REAL ESTATE MARKET

Nataliia Maksyshko

DSc (Economic Sciences), Professor,
Head of the Department of Economic Cybernetics

SHEE «Zaporizhzhya National University»
66 Zhukovsky Street, Zaporizhzhia, 69600, Ukraine

maxishko@ukr.net

Victoriia Shapovalova

PhD (Economic Sciences),
Assistant of Department of Economic Cybernetics

SHEE «Zaporizhzhya National University»
66 Zhukovsky Street, Zaporizhzhia, 69600, Ukraine

victoria2909@mail.ru

Real estate is considered as an important segment of the financial market in terms of the coherent market hypothesis, which combines the nonlinear deterministic model and statistical dynamic model and its basic assumption is that the dynamics of the market is divided into

four phases: random walk, unstable transition, chaotic market and coherent market. Information base for research is statistical information market dynamics on the average price per square meter of real estate in the secondary real estate market, as well as derivative yields a time series of prices. In this article a method for identifying the phases of real estate market, based on the use of fuzzy model. The general scheme of the method consists of three parts: I — contains fuzzy model identification phase of the real estate market (due to the high level of uncertainty in the market price dynamics and its properties of nonlinearity, nonstationarity, etc.); II — verification of the model based on the comparison of the results of the identification data of peer reviews; III — is designed to train the model (optimizing of parameters of membership functions, based on which is carried out the classification). To build a model of the choice of input (explanatory) factors model, which involves the separation of the most informative features for the classification phase. For this goal, the properties of the dynamics of return rates in the phases of the coherent market requirements regarding quantitative indicators were analysed. As a result, quantitative characteristics of dynamics were selected, which were obtained by the use of complex statistical and fractal analysis and characterize the nature of the time series, estimate the depth of its memory, the local dynamics of resistance and the presence of land-slides. The knowledge base model is built. The application of the constructed model will allow to implement a qualitative analysis of the current situation in the real estate market, to provide guidance on the selection of relevant instruments prediction.

Keywords. *Real estate market, the dynamics of prices coherent hypothesis of market identification phase, the phase of the random walk, unstable transition phase, phase chaotic market, phase coherence, fuzzy modeling, complex fractal analysis.*

JEL Classification: C53, C59

Постановка проблеми

Однією з проблем, яка постає перед учасниками фінансових ринків, є невизначеність, в умовах якої відбувається прийняття рішень. Актуальною ця проблема є і для ринку нерухомості, який з одного боку є товарним ринком, але останнім часом виділяється як самостійний сегмент фінансового ринку [1]. На цьому ринку здійснюється великий обсяг операцій з продажу квартир, офісів, дач та ін. І при цьому нерухомість чим далі використовується як фінансовий інструмент.

Уже визнаним фактом є те, що процеси, які відбуваються на фінансових ринках під впливом як об'єктивних економічних

умов, так і суб'єктивних рішень учасників ринку, обумовлюють нелінійний характер динаміки ціни на ринку, кризові явища та, в результаті, високий ступінь непередбачуваності динаміки. Проблема прогнозування ринкової кон'юнктури та мінливості ринку обумовлює необхідність прийняття певного теоретичного базису на основі глибокого дослідження конкретного ринку з метою виявлення передумов застосування відповідного інструментарію. При цьому важливою проблемою є оцінювання та ідентифікація поточного стану ринку.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій

Проблемам організації, функціонування та регулювання ринку нерухомості присвячено праці українських вчених: А. Асаула, О. Гриценко, І. Балабанової, Ю. Манцевича, Я. Маркуса, А. Михайлова, В. Назирова, Б. Новікова, С. Чиркіна, С. Шуляка. Питання моделювання ціноутворення та дослідження динаміки ціни на нерухоме майно відображено у роботах В. Вороніна, Л. Воротиної, І. Геллера, С. Грибовського, В. Єлейко, І. Кривов'язюка, Н. Ордугея, С. Сівця, Г. Стерніка, Дж. Фрідмана, Г. Харрісона. Методологія наведених досліджень базується на лінійній парадигмі. Проте, за умови підвищення складності процесів, що відбуваються на ринках, та пояснення їх особливостей на зміну останній прийшла нелінійна парадигма [2]. Дослідженню ринку нерухомості з точки зору нелінійної парадигми присвячено роботи [3—5].

У роботі авторів [3] ринок нерухомості України досліджено з точки зору різних концепцій фінансових ринків, які сформульовано у так званих «гіпотезах»: ефективного ринку (ЕМН), фрактального ринку (ФМН) та когерентного ринку (СМН). У результаті на основі аналізу динаміки середніх цін на житло, доходностей і ланцюгових індексів встановлено, що ринок нерухомості України підпорядковується гіпотезі СМН — когерентного ринку.

Розробці гіпотези когерентного ринку присвячено праці Т. Веґе, Е. Петерса [2]. На даний час увага до її застосування для аналізу економічних процесів зростає. Так, у роботі [6] гіпотезу когерентного ринку застосовано для дослідження властивостей і прогнозування поведінки фінансових ринків, у роботі [7] розглянуто перспективи використання гіпотези когерентного ринку для

успішної роботи трейдерів, портфельних менеджерів та інвесторів з урахуванням групової свідомості ринку, у [8] — з точки зору гіпотези когерентного ринку досліджено стан ринку енергоносіїв.

Ця гіпотеза (за [2]) поєднує нелінійну детерміністичну модель і статистичну динамічну модель, а її основне припущення полягає в тому, що в динаміці ринку присутні такі фази:

1) фаза випадкового блукання — змістовно відповідає ситуації, коли всі (у тому числі і представники різних груп) інвестори розгублені, приймають рішення випадковим чином, незважаючи на колективну думку (така ситуація, зазвичай, має місце безпосередньо під час рецесійних процесів, одразу після гострого спаду);

2) фаза нестійкого переходу — змістовно відповідає ситуації, коли поступово починає формуватися суспільна раціональна думка;

3) фаза хаотичного ринку — ринок складається з груп інвесторів з різними горизонтами (розширюється);

4) фаза когерентності — відповідає ситуації, коли відбувається поєднання надзвичайно сильних проявів суспільної свідомості та фундаментальних чинників, що виявляється в значних змінах тренду динаміки цін.

Кожна з цих фаз має характерні властивості, які можуть бути підтверджено кількісними характеристиками. Це дає підстави для постановки та вирішення задачі ідентифікації фаз когерентного ринку, зокрема, для ринку нерухомості.

Під ідентифікацією розуміють процес побудови моделей об'єктів, процесів, явищ за експериментальними даними [8]. Ідентифікація є невід'ємною частиною процесу адаптивного управління, яке дозволяє на основі налаштування моделей за даними реального функціонування систем виробляти відповідні управляючі дії [9]. З огляду на великий обсяг інформації (даних) щодо функціонування ринку нерухомості та притаманний їй високий ступінь невизначеності, завдання ідентифікації дозволяє вирішувати, зокрема, методологія інтелектуального аналізу даних (Data Mining). Одним з методів, що реалізує цю методологію, є нечітке моделювання. Застосування інструментарію нечіткого моделювання для розв'язку задач ідентифікації та класифікації знайшло відображення, зокрема, у роботах, присвячених аналізу

конкурентоспроможності підприємств [10], ризикам банкрутства підприємств [11, 12], аналізу інвестиційної привабливості проектів [13].

Метою даної статті є розробка методу ідентифікації фаз ринку нерухомості з урахуванням гіпотези когерентного ринку із застосуванням інструментарію нечіткого моделювання.

Матеріали та результати досліджень

Інформаційну базу дослідження динаміки ринку нерухомого майна становить статистична інформація щодо середньої ціни квадратного метру нерухомого майна на вторинному ринку житлової нерухомості, яку надає Консалтингова компанія SV Development [14].

Введемо позначення для часових рядів (ЧР), які характеризують процеси, що відбуваються на ринку нерухомості:

$P = \langle p_t \rangle, t = \overline{1, n}$ — ЧР середньої ціни на нерухомість (\$/кв. метр);

$RP = \langle rp_t \rangle, rp_t = \frac{p_t - p_{t-1}}{p_{t-1}} * 100, t = \overline{2, n}$ — ЧР дохідностей нерухомості (%).

Фази, в яких згідно гіпотези когерентного ринку може перебувати ринок нерухомості, позначимо $E_q, q = \overline{1, 4}$, де E_1 — фаза випадкового блукання, E_2 — фаза нестійкого переходу, E_3 — фаза хаотичного ринку, E_4 — фаза когерентності. Множину фаз позначимо $Q = \{E_q, q = \overline{1, 4}\}$.

Задача ідентифікації фаз ринку, представленого ЧР RP , полягає у розбитті вихідного ЧР RP на впорядковані підмножини (відрізки ЧР — позначимо їх $RP^q_i = [a_i, b_i]^q$), кожна з яких має порядковий номер i ($i = \overline{1, K}$) та відповідає деякій певній фазі E_q , в якій на цьому відрізку часу перебуває ринок. Тут K — означає кількість відрізків, на які розбивається ЧР RP , a_i — рівень ЧР RP , який є початком, а b_i — кінцем відрізка RP^q_i , $a_i, b_i \in RP$ та $\bigcap_{i=1}^K RP^q_i = \emptyset$.

Для розв'язання задачі ідентифікації необхідно для кожного моменту часу t встановити, до якої фази E_q (а також підмножини RP_i^q) належить рівень $rp_i \in RP$. Іншими словами, задача ідентифікації полягає у побудові гомоморфного відображення упорядкованої множини рівнів дохідності нерухомості (ЧР RP) у множину фаз $Q: RP \rightarrow Q$.

У результаті відображення отримаємо символний (або лінгвістичний) ЧР $RP^Q = \langle E_{qt}, t = \overline{1, n-1}, E_{qt} \in Q \rangle$.

Зауважимо, що задача ідентифікації також тісно пов'язана з розпізнаванням образів — розділом теорії штучного інтелекту, що вивчає методи класифікації об'єктів. У межах теорії штучного інтелекту розпізнавання образів включається у більш широку наукову дисципліну — теорію машинного навчання, метою якої є розробка методів побудови алгоритмів, що здатні навчатися. Як і до розв'язання задачі ідентифікації, існує два підходи до навчання: індуктивне і дедуктивне [8]. Індуктивне навчання, або навчання за прецедентами, засноване на виявленні загальних властивостей об'єктів на підставі неповної інформації, отриманих емпіричним шляхом, зокрема, за допомогою експертів. Дедуктивне навчання передбачає формалізацію знань експертів у вигляді баз знань (експертних систем тощо).

Для розв'язання задачі ідентифікації фази ринку нерухомості поєднаємо ці два підходи та розробимо метод на основі нечіткої моделі, загальну схему якої представлено на рис. 1.

Загальна схема методу складається з трьох блоків:

блок **I** — містить нечітку модель ідентифікації фази ринку нерухомості (вибір якої обумовлений високим рівнем невизначеності динаміки ціни на ринку, що підтверджується такими її властивостями як нелінійність, нестационарність тощо);

блок **II** — вирішує завдання верифікації моделі на базі співставлення результатів ідентифікації з даними, що отримано попередньо на основі експертного оцінювання [3, 7];

блок **III** — призначений для навчання моделі за рахунок оптимізації параметрів функцій належності та, в подальшому, ваг бази знань.

Побудуємо нечітку модель, яка становить зміст блоку **I** і складається з таких етапів.

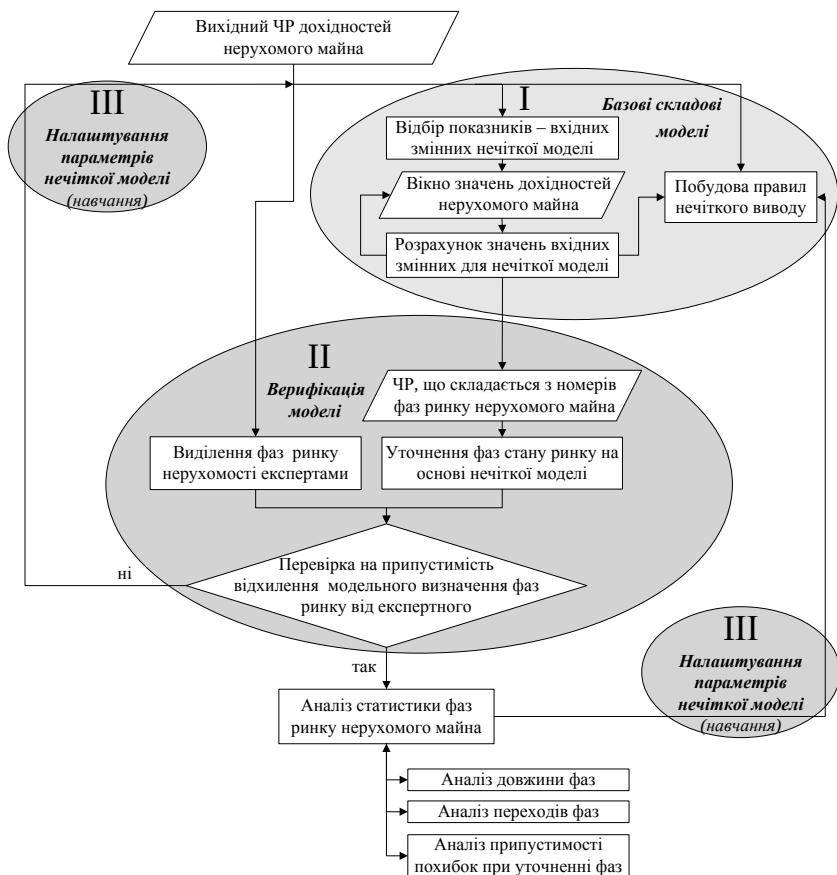


Рис. 1. Загальна схема побудови нечіткої моделі ідентифікації фази ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку

Етап 1. Визначення змінних моделі

Визначення вхідних (пояснюючих) факторів моделі полягає у виділенні найбільш інформативних ознак для класифікації. Розглянемо властивості, які мають відображати вхідні змінні. Класифікації підлягають чотири фази ринку нерухомого майна $E_q, q = 1, 4$. Їх якісні властивості та характеристики представимо у табл. 1.

Таблиця 1

**ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИНАМІКИ ЦІНИ
У ФАЗАХ КОГЕРЕНТНОГО РИНКУ**

Характеристика Фаза	Випадкове блукання (відсутня довготривала пам'ять у динаміці)	Випадковий процес (нестійкий перехід)	Фрактальний процес (наявна довготривала пам'ять у динаміці)	Фрактальний процес, що характеризується значним зсувом динаміки
	Стохастичний процес		Детермінований процес	
E_1	+	⊖	-	-
E_2	±	±	⊖	-
E_3	-	-	+	⊖
E_4	-	-	+	+

Таким чином, кількісні характеристики, що мають бути обраними як вхідні фактори моделі, повинні, по-перше, дати змогу відрізнити стохастичну природу динаміки від детермінованої; по-друге, відрізнити нестійкі процеси, які можуть виявлятися у ознаках наявності пам'яті у динаміці, але ще не набути ознаки довготривалості (мати незначну глибину); по-третє, виявити наявність суттєвих зсувів у динаміці.

З цією метою будемо використовувати систему кількісних характеристик динаміки, що отримано в результаті застосування статистичного й комплексного фрактального аналізу [15] та характеризують природу ЧР, оцінюють його глибину пам'яті, локальну стійкість динаміки та наявність зсувів. До таких показників можна віднести статистичні характеристики (точкові оцінки) динаміки ЧР RP і його нечітку глибину пам'яті. Остання (за [16, 17]) визначається як нечітке число

$$L(RP) = \{(l_i, \mu_L(l_i)); l_i \in L_0 \subset N\}, \mu_L : N \rightarrow [0;1],$$

де $L_0 = \text{supp } L(RP) = \{l_i \in N, i = 1, 2, \dots : \mu_L(l_i) > 0\}$ — носій нечіткої множини $L(RP)$;

$\mu_L(l_i) = \mu(l_i)$ — значення функції належності, що визначає ступінь можливості натурального числа l_i («глибини l_i ») належати до нечіткого числа «глибина пам'яті ЧР RP ».

Для оцінки властивостей фаз когерентного ринку в якості входних змінних моделі оберемо такі показники [15]:

1) показник Херста (H) — кількісна характеристика часового ряду, на основі якої можна зробити висновок про його природу (детерміновану або стохастичну), виявити наявність властивості персистентності (трендостійкості) або антиперсистентності (реверсування або частого повернення до середнього). Наближення значення показника Херста до одиниці, свідчить про детерміновану (фрактальну або когерентну) динаміку, що є характерною для фаз E_3 та E_4 . Наближення показника Херста до значення «0,5» свідчить про стохастичну природу динаміки (відповідає фазам E_1 та E_2);

2) значення натурального числа $l_i \in L_0$ («глибини l_i »), якому відповідає найбільше значення функції належності у нечіткій множині $L(RP)$ — позначимо його $l_{H3} : \mu(l_{H3}) = \max_{l_i \in L_0} \mu(l_i)$. Цей скалярний показник дає змогу оцінити стійкість і передбачуваність динаміки ЧР RP при прийнятті рішення про відокремлення, зокрема, фаз E_2 та E_3 й E_4 ;

3) показник інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті ЧР $H_{entrop_L} = - \sum_{l_i \in L_0} \mu(l_i) \cdot \log_2 \mu(l_i)$, який відображає ступінь невизначеності щодо значення глибини пам'яті ЧР, що є також важливим для відокремлення фаз E_2 та E_3 й E_4 (чим більше потужність множини L_0 — носія нечіткого числа глибини пам'яті ЧР, тим більше різноманітність (а тому і невизначеність) можливої поведінки ЧР, що відповідає більшому значенню ентропії);

4) коефіцієнт асиметрії щільності розподілу рівнів ЧР (A). Якщо коефіцієнт асиметрії A наближається до нуля, це свідчить про переміщення ринку нерухомості у фазу E_1 випадкового блукання. Збільшення абсолютного значення показника асиметрії може слугувати індикатором посилення явища когерентності E_4 .

Таким чином, сумісне врахування цих показників може дати змогу відокремити фази когерентного ринку для ринку нерухо-

мості. Зазначимо, що саме деяка невизначеність у трактуванні значень цих показників і спонукає до використання саме нечіткої моделі ідентифікації фази ринку.

Необхідно зауважити, що всі наведені показники є характеристикою деякого ЧР (динаміки). Будемо вважати, що стан ринку в момент часу t може бути охарактеризовано на основі аналізу так званого «попереднього вікна», яке має ширину k (кількість рівнів) і закінчується на рівні $rp_t, t = \overline{k, n}$, ЧР RP , тобто для відрізка ЧР $\langle rp_{t-k+1}, rp_{t-k+2}, \dots, rp_{t-1}, rp_t \rangle$.

Ширину вікна k будемо обирати з урахуванням таких міркувань (за аналогією з [18]):

а) вікно повинно охоплювати більше, ніж 12 спостережень (кількість місяців одного року), для нівелювання сезонної складової часового ряду;

б) вікно повинно включати достатню кількість спостережень для аналізу. Ця вимога пов'язана з особливостями обчислення показника Херста на основі методу нормованого розмаху Херста (стандартного R/S -аналізу), проте визначення нечіткої глибини пам'яті ЧР на основі методу послідовного R/S -аналізу таких вимог не накладає.

Оберемо ширину попереднього вікна такою, що дорівнює 30 ($k = 30$). Цей термін становить два з половиною роки, тобто містить такий часовий проміжок, у межах якого може відбуватись структурне зрушення динаміки цін.

Визначення виділених вище показників для оцінки стану ринку в момент часу t , $t = \overline{k, n}$, полягає у обчисленні кожного з них для відповідного відрізка ЧР $\langle rp_{t-k+1}, rp_{t-k+2}, \dots, rp_{t-1}, rp_t \rangle$. У результаті отримаємо такі похідні для RP часові ряди:

$$H = \langle H_t, t = \overline{k, n} \rangle, \quad (1)$$

$$l_{нз} = \langle l_{нзt}, t = \overline{k, n} \rangle, \quad (2)$$

$$H_{entrop_L} = \langle H_{entrop_L_t}, t = \overline{k, n} \rangle, \quad (3)$$

$$A = \langle A_t, t = \overline{k, n} \rangle \quad (4)$$

Таким чином, визначення вхідних змінних нечіткої моделі завершено.

При визначенні вихідної змінної зауважимо, що кожна з фаз відповідно до гіпотези когерентного ринку, яка поєднує нелінійну детерміністичну модель і статистичну динамічну модель, характеризується випадковою та детермінованою складовою. При переході від фази випадкового блукання до фази когерентності зростає детермінована складова, тобто більш вираженням є результат суспільної думки, а тому зростає «порядок» у діях інвесторів (агентів на ринку). Рівень цього «порядку» будемо визначати кількісно нормованою величиною, що змінюється від 0 (що відповідає повній відсутності порядку, тобто випадковому блуканню) до 1 (що відповідає повному порядку, тобто повністю детермінованому процесу). За таких умов, за вихідну оберемо нечітку змінну «рівень порядку на ринку», що опосередковано визначає належність рівня $rp_t \in RP$ до певної фази ринку. Введемо позначення, за аналогією з [13, с. 33]:

$$LOM(rp_t) = \{(E_q, \mu_{E_q}(rp_t)), q = \overline{1,4}\}, \quad (5)$$

де $E_q \in T^{LOM}$ — лінгвістичне значення змінної $LOM(rp_t)$,

T^{LOM} — терм-множина, $T^{LOM} = \{DH \equiv E_1, H \equiv E_2, C \equiv E_3, B \equiv E_4\}$.

Зміст терм-множини T^{LOM} визначається завданням виділення фаз на ринку нерухомості і їх зв'язком із рівнем «порядку» (тобто детермінованості) на ринку. Так, «дуже низький рівень» (DH) порядку на ринку відповідає фазі випадкового блукання; «низький рівень» (H) порядку — фазі нестійкого переходу; «середній рівень» (C) порядку відповідає фазі хаотичного ринку; «високий рівень» (B) порядку — фазі когерентності.

Перейдемо до процедури фазифікації, за якою визначимо вхідні показники як нечіткі змінні.

Етап 2. Визначення лінгвістичних значень вхідних змінних (критеріїв класифікації)

Для формування бази знань при побудові моделі на підґрунті нечіткої логіки скористаємося трьома термами для кожної змінної. Для оцінювання всіх показників $H, I_{H3}, H_{entrop_L}, A$, що характеризують стан ринку, сформуємо єдину шкалу з трьох якісних термів: H — низький рівень показника, C — середній рівень показника, B — високий рівень показника.

Етап 3. Побудова функцій належності змінних

Області визначення вхідних змінних визначаються діапазонами можливих значень відповідних показників:

$$0 \leq H \leq 1,$$

$$3 \leq l_{H3} < \infty,$$

$$0 \leq H_{\text{entrop}_L} < \infty,$$

$$-\infty < A < \infty.$$

Необхідність нечіткого опису, як зазначено вище, обумовлена невизначеністю щодо відповідності значень виділених показників певній фазі когерентного ринку. Проте, таку відповідність можна вказати для їх лінгвістичних значень. Детальну методику побудови функцій належності можна знайти в [10, 13, 19]. У даній роботі визначення виду функцій належності для вхідних змінних здійснено на основі прямих і непрямих методів: на основі аналізу гістограм розподілу значень відповідних показників для відрізків часового ряду $RP_i^q, i=1, K, q=1, 4$ та думки експертів. При виборі враховано, що трикутна функція належності дозволяє підкреслити досягнення максимального значення функції в одній точці змінної, а трапецієвидна функція — задавати ядро нечіткої множини у вигляді інтервалу. Обидві функції формуються з використанням кусково-лінійної апроксимації. До гладких функцій належності відносять квазідзвоноподібні функції належності [11, 20], які аналітично представляються функцією

$$\mu^T(X) = \frac{1}{1 + \left(\frac{X - b_T}{c_T} \right)^2},$$

де X — значення показника,

c_T — коефіцієнт концентрації-розтягування функції,

b_T — координата максимуму функції ($\mu(b_T) = 1$),

T — лінгвістичний терм із множини $\{H, C, B\}$. Значення функцій належності термів H та B усіх змінних за межами своїх максимумів b_T дорівнюють, як і в точках максимуму, одиниці.

Необхідно зауважити, що лінгвістична оцінка показника Херста з огляду на рівень порядку на ринку є симетричною відносно значення $H = 0,5$. Тому функцію належності для показника Херста будемо представляти в системі координат з абсцисою $|H - 0,5|$. Аналогічно, коефіцієнт асиметрії є симетричним відносно 0.

Параметри квазідзвоноподібних функцій належності для вхідних змінних (коефіцієнту асиметрії A , показника Херста H , значення глибини пам'яті, що зустрічається найчастіше для даного ЧР RP l_{H3} , показника інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті H_{entrop_L}) представлено в табл. 2.

Таблиця 2

ПАРАМЕТРИ КВАЗІДЗВОНОПОДІБНИХ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ВХІДНИХ ЗМІННИХ

Вхідна змінна	Лінгвістичне значення показника	Коефіцієнт концентрації-розтягування функції c_T	Координата максимуму функції b_T
Коефіцієнт асиметрії $ A $	Низьке	0,8	0
	Середнє	0,8	2
	Високе	0,8	5
Відхилення показника Херста $ H - 0,5 $	Низьке	0,2	0
	Середнє	0,3	0,25
	Високе	0,3	0,5
Значення глибини пам'яті, що є найбільш можливим для даного ЧР RP l_{H3}	Низьке	1	3
	Середнє	1	5
	Високе	5	10
Показник інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті H_{entrop_L}	Низьке	1,5	0
	Середнє	1,5	3
	Високе	0,8	5

Чим більше значення коефіцієнту концентрації-розтягування, тим більш пологий вигляд має функція належності. Низьке значення коефіцієнта концентрації-розтягування акцентує увагу на невеликому околі координати максимуму і притаманне вхідним змінним з невеликим розмахом (наприклад, показнику Херста).

Результат визначення функції належності для вхідних змінних із використанням прикладного програмного пакету Matlab представлено на рис. 2.

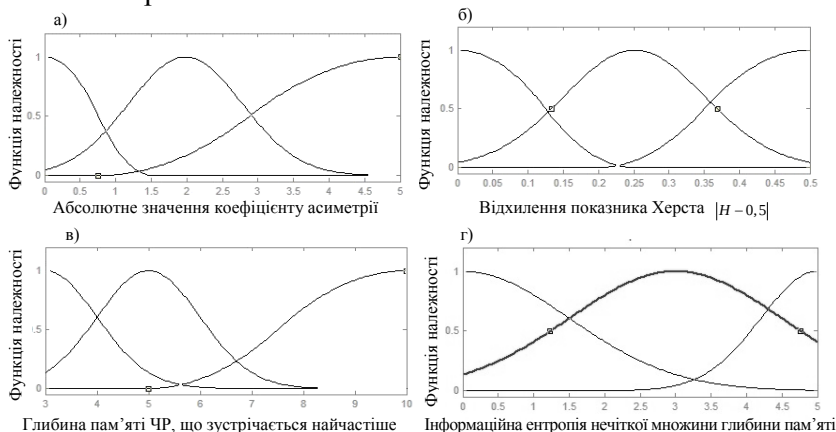


Рис. 2. Візуальне представлення функції належності вхідних змінних: а) абсолютного значення коефіцієнту асиметрії A ; б) показника Херста H ; в) глибини пам'яті ЧР L_{H3} ; г) інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті ЧР H_{entrop_L} .

Для вихідної змінної на основі ретроспективного аналізу ЧР та експертних оцінок було обрано функції належності трапецієвидного та трикутного виду. Область визначення вихідної змінної «рівень порядку на ринку» — інтервал $[0; 1]$. Результат визначення нормальної функції належності для вихідної змінної «рівень порядку на ринку» представлено на рис. 3.

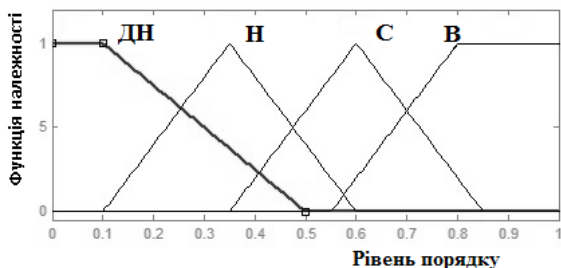


Рис. 3. Візуальне представлення функції належності вихідної змінної $LOM(rp_i)$ «рівень порядку на ринку»

Етап 4. Побудова нечіткої моделі ідентифікації стану ринку нерухомості типу Мамдані

Для отримання значення лінгвістичної змінної $LOM(rp_t)$, що опосередковано визначає фазу ринку нерухомості, застосуємо композиційне правило, запропоноване Л. Заде, яке формалізує нечіткий логічний висновок щодо різних значень показників (коефіцієнта асиметрії A , коефіцієнта Херста H , глибини пам'яті часового ряду I_{H3} , що зустрічається найчастіше, інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті H_{entrop_L}). Для його застосування розробимо базу знань за принципом алгоритму Мамдані (табл. 3).

Виходячи з табл. 3, правило переходу до фази, наприклад, когерентності (відповідає значенню «високий рівень порядку»), можна сформулювати наступним чином:

Якщо $((A = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (I_{H3} = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H_{entrop_L} = \text{«Високе»})) \text{ АБО } ((A = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H = \text{«Середнє»}) \text{ ТА } (I_{H3} = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H_{entrop_L} = \text{«Високе»})) \text{ АБО } ((A = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (I_{H3} = \text{«Середнє»}) \text{ ТА } (H_{entrop_L} = \text{«Високе»})) \text{ АБО } ((A = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (I_{H3} = \text{«Середнє»}) \text{ ТА } (H_{entrop_L} = \text{«Середнє»})) \text{ АБО } ((A = \text{«Середнє»}) \text{ ТА } (H = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (I_{H3} = \text{«Високе»}) \text{ ТА } (H_{entrop_L} = \text{«Високе»})), \text{ ТО } (LOM(rp_t) = \text{«Високий»}).$

Аналогічним чином формулюються всі інші правила визначення належності рівня $rp_t \in RP$ до відповідних фаз ринку.

Етап 5. Прийняття рішення

Остаточне рішення моделі щодо визначення належності рівня $rp_t \in RP$ певній фазі E_q ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку обирається таке, для якого функція належності вихідної змінної $LOM(rp_t)$ буде найбільшою для заданих значень вхідних показників $A, H, I_{H3}, H_{entrop_L}$:

$$LOM(rp_t) = E_q^* = \arg \max_{E_q \in Q} \{\mu_{E_q}(rp_t), q = \overline{1,4}\}.$$

Таблиця 3

ПРАВИЛА НЕЧІТКОГО ВИВОДУ ДЛЯ НЕЧІТКОЇ ЗМІННОЇ $LOM(rp_i)$ — «РІВЕНЬ ПОРЯДКУ НА РИНКУ»

№	Лінгвістичні значення показників				Лінгвістичне значення змінної $LOM(rp_i)$ — «рівень порядку на ринку»
	Коефіцієнт асиметрії A	Показник Херста H	Глибина пам'яті часового ряду $I_{H\tau}$, що зустрічається найчастіше	Показник інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті $H_{entrop.L}$	
1	Високе	Високе	Високе	Високе	Високий
2	Низьке	Низьке	Низьке	Низьке	Дуже низький
3	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середній
4	Високе	Середнє	Високе	Високе	Високий
5	Високе	Високе	Середнє	Високе	Високий
6	Високе	Високе	Високе	Середнє	Високий
7	Середнє	Високе	Високе	Високе	Високий
8	Середнє	Низьке	Середнє	Середнє	Середній
9	Середнє	Середнє	Низьке	Середнє	Середній
10	Середнє	Середнє	Середнє	Низьке	Середній
11	Низьке	Середнє	Середнє	Середнє	Середній
12	Середнє	Високе	Середнє	Середнє	Середній
13	Середнє	Середнє	Високе	Середнє	Середній
14	Середнє	Середнє	Середнє	Високе	Середній
15	Високе	Середнє	Середнє	Середнє	Середній
16	Низьке	Середнє	Низьке	Середнє	Низький
17	Середнє	Низьке	Середнє	Низьке	Низький
18	Низьке	Низьке	Середнє	Середнє	Низький
19	Середнє	Середнє	Низьке	Низьке	Низький
20	Низьке	Високе	Низьке	Високе	Низький
21	Високе	Низьке	Високе	Низьке	Низький
22	Низьке	Низьке	Високе	Високе	Низький
23	Високе	Високе	Низьке	Низьке	Низький
24	Низьке	Низьке	Низьке	Середнє	Дуже низький
25	Низьке	Низьке	Середнє	Низьке	Дуже низький
26	Низьке	Середнє	Низьке	Низьке	Дуже низький
27	Середнє	Низьке	Низьке	Низьке	Дуже низький

Таким чином, результатом застосування побудованої моделі є лінгвістичний опис належності поточного стану ринку нерухомості до певної фази когерентного ринку $RP_i^q, i = \overline{1, K}, q = \overline{1, 4}$. У результаті отримуємо лінгвістичний ЧР $RP^Q = \langle E_{qt}, t = \overline{1, n}, E_{qt} \in Q \rangle$.

Далі розглянемо блок II, який — вирішує завдання верифікації моделі на базі ретроспективного аналізу шляхом співставлення результатів ідентифікації з даними, що отримано попередньо на основі експертного оцінювання. Запропонована модель налаштовується на експертні знання, щоб прискорити процес аналізу часового ряду ціни на нерухоме майно, знизити вартість проведення подібних досліджень і зменшити можливі негативні прояви суб'єктивного оцінювання в подальшому.

Якщо назву фази E_q замінити на її номер $q = \overline{1, 4}$, то як результат нечіткої моделі отримаємо часовий ряд $RP^{q'}$, що складається з номерів фаз ринку нерухомого майна, який можна представити як впорядковану множину підмножин: $RP^{q'} = \bigcup_{i=1}^K RP_i^{q'} = \bigcup_{i=1}^K [a_i', b_i']^{q'}$, де i — номер інтервалу, a_i' — перший елемент впорядкованої підмножини (відрізка $RP_i^{q'}$) із номерів q , b_i' — останній елемент підмножини $RP_i^{q'}$, K — кількість різних виділених підмножин, що відповідають різним фазам ринку. Далі з заданою похибкою δ уточнимо розбиття на ділянки відповідних фаз ринку нерухомого майна. Нехай $\delta = 10\%$. Тоді ділянкою $RP_i^{q'}$ відповідної фази E_q ринку нерухомого майна згідно гіпотези когерентного ринку будемо вважати сукупність рівнів, 90 % яких належать до однієї і тієї ж фази E_q , оскільки статистична похибка моделі, що дорівнює 10 %, вважається низькою [21].

Для порівняння результатів оцінювання фаз стану ринку нерухомості, отриманих за допомогою експертного методу та нечіткої моделі введемо критерії оцінювання якості моделі.

Позначимо: a_i^{ex}, b_i^{ex} — нижня та верхня границі ділянки, отриманої в результаті експертного оцінювання; a_i', b_i' — нижня та верхня границі відповідної ділянки, отриманої в результаті застосування побудованої нечіткої моделі.

Похибку побудованої нечіткої моделі будемо оцінювати за формулою, аналогічної до стандартної середньої абсолютної похибки у відсотках:

$$MAPE = \frac{100}{K} \sum_{i=1}^K \left(\frac{|a_i^{ex} - a_i'|}{a_i^{ex}} + \frac{|b_i^{ex} - b_i'|}{b_i^{ex}} \right). \quad (6)$$

Якщо значення похибки *MAPE* буде меншою за задану похибку δ (наприклад, 10 %), нечітка модель буде визнана прийнятною для ідентифікації фази стану ринку нерухомого майна. Якщо *MAPE* буде перевищувати значення δ , то необхідно перейти до блоку **III** (навчання), в межах якого скорегувати параметри моделі, зокрема, коефіцієнти концентрації-розтягування та координати максимумів функцій належності вхідних змінних.

Можливою є ситуація, коли розподіл або межі фаз експертним шляхом і за допомогою моделі буде не співпадати. У цьому випадку необхідно провести налаштування моделі (за допомогою оптимізації параметрів функцій належності, на основі яких здійснюється класифікація).

У результаті застосування побудованої моделі до даних ЧР *RP* дохідності нерухомого майна у м. Києві за період з січня 1991 року по грудень 2013 року отримано значення похибки *MAPE* = 5,2 % (експертне визначення фаз стану ринку було подано в [3]). Отже модель ідентифікації фази ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку є прийнятною.

На рис. 4 наведено графічне представлення ЧР *RP* дохідності нерухомості у м. Києві та похідні для нього ЧР значення показника Херста з попереднім вікном $k = 30$ (за період з січня 1991 року по грудень 2013 року) з виділенням фаз згідно гіпотези когерентного ринку на основі нечіткої моделі.

Етап 6. Аналіз статистики фаз і рекомендації щодо використання нечіткої моделі

Рекомендації з використання нечіткої моделі ідентифікації фаз ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку можна сформулювати таким чином:

1. Метод прогнозування, релевантний до поточної фази ринку, обирається на основі ідентифікації фази. Для цього використовують кількість спостережень, що дорівнює довжині попереднього вікна, тобто 30 значенням динаміки ціни на нерухомість. Для

фаз випадкового блукання та нестійкого переходу є доцільним використання методів екстраполяції, а для фаз хаотичного ринку та когерентного ринку — методології прогнозування на базі дискретної нелінійної динаміки.

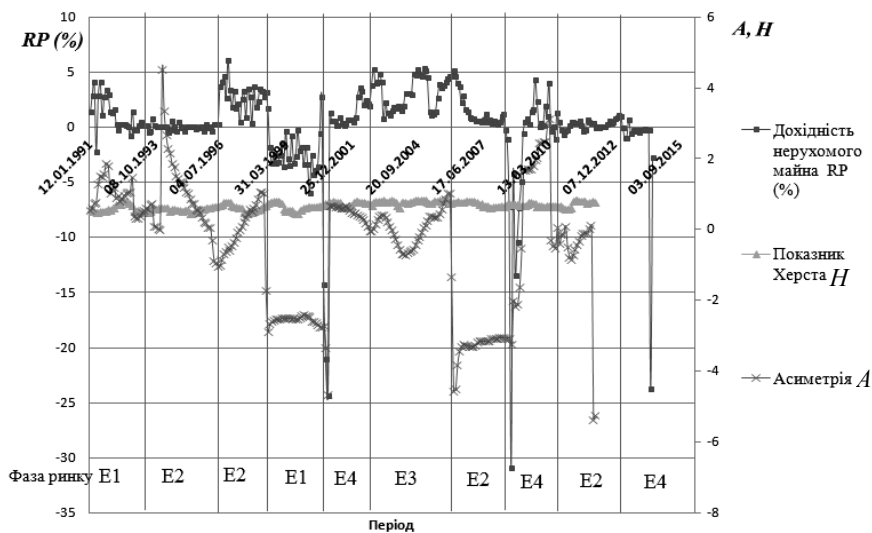


Рис. 4. Графічне представлення вихідного ЧР RP дохідності нерухомості у м. Києві та похідні для нього ЧР показника Херста та асиметрії

2. Аналіз статистики фаз дає змогу зробити припущення щодо тривалості фаз. Виявлено, що в середньому кожна з фаз продовжується близько двох років. Тому важливе значення має не тільки належність поточного спостереження до тієї чи іншої фази когерентного ринку, але й її початок. Якщо він мав місце менше, ніж два роки назад, то є підстави очікувати, що фаза може продовжуватися (не змінитися) за умови, природно, відсутності суттєвих змін у зовнішньому середовищі та внутрішніх умовах ринку.

3. Аналіз зміни фаз підтвердив результати [2], що перехід з однієї до іншої фази відбувається за такими правилами:

— фаза випадкового блукання може переходити у фазу нестійкого переходу або фазу когерентності;

— фаза нестійкого переходу може переходити у фазу випадкового блукання, фазу хаотичного (фрактального) ринку або фазу когерентності;

— фаза хаотичного (фрактального) ринку може переходити у фазу нестійкого переходу або фазу когерентності;

— фаза когерентності може переходити у будь-яку фазу.

Зважаючи на зв'язок між рівнем порядку (детермінованості) на ринку та відповідною фазою, загальне правило переходів фаз з однієї в іншу (чергування) можна сформулювати таким чином: кожна з фаз, окрім фази когерентності, може перейти у минулий чи наступний стан (при цьому, послідовність фаз є такою: випадкового блукання — нестійкого переходу — хаотичного (фрактального) ринку — когерентності). Фаза когерентності може спостерігатись після кожної з фаз і перейти у будь-яку, оскільки є проявом структурних зрушень у результаті дії фундаментальних факторів.

На основі проведеного дослідження була створена база знань (див. рис. 5) з переходів фаз одна в одну, що притаманна саме ринку нерухомості України. Визначення поточного стану ринку нерухомого майна на схемі відбувається як інтерпретація комбінацій чисельного кодування фази ринку та лінгвістичного комбінування значень вхідних змінних.

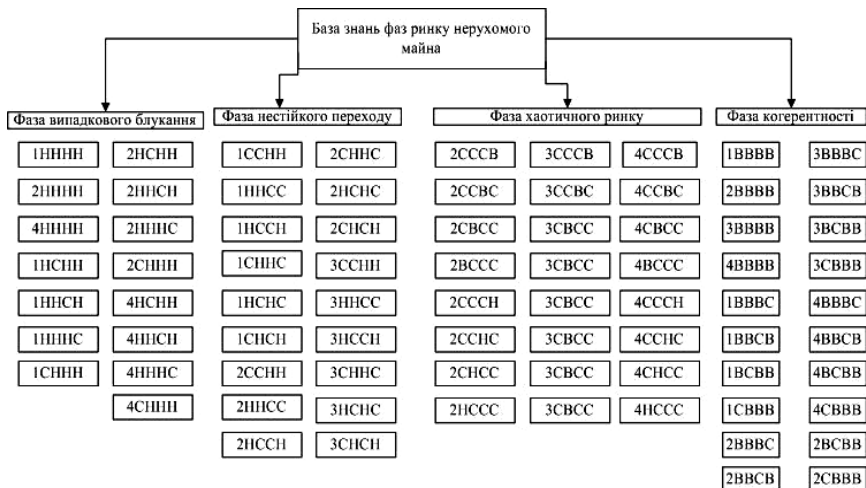


Рис. 5. База знань щодо переходів фаз ринку нерухомого майна

Наприклад, комбінація 1НННН означає, що у випадку, якщо попередньою фазою була фаза випадкового блукання («1»), а коефіцієнт асиметрії A , коефіцієнт Херста H , глибина пам'яті часового ряду I_{H3} , що зустрічається найчастіше, та інформаційна ентропія нечіткої множини глибини пам'яті приймають низьке значення («Н»), то наступною фазою буде також фаза випадкового блукання.

Висновки

У результаті досліджень побудовано нечітку модель діагностики стану ринку нерухомості шляхом ідентифікації фази когерентного ринку. Процедура верифікації виявила її достатню адекватність у порівнянні (за відсутністю на даний час інших даних) із результатами експертного оцінювання.

Застосування побудованої моделі дозволить провести якісний аналіз поточної ситуації на ринку нерухомого майна, оцінити можливість переходу ринку нерухомості у наступні фазу, надати рекомендації щодо вибору релевантного інструментарію прогнозування.

У зв'язку з тим, що на даний час налаштування параметрів нечіткої моделі ідентифікації фаз ринку здійснюється безпосередньо дослідником або користувачем, то перспективою подальших досліджень є розробка відповідних алгоритмів навчання.

Література

1. *Ходаківська В. П.* Ринок фінансових послуг: Навчальний посібник / В. П. Ходаківська, О. Д. Данілов. — Ірпінь : Академія ДПС України, 2001. — 501 с.
2. *Peters E.* Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility/ Edgar E. Peters. — New-York : John Wiley and Sons, Inc, 1996. — 288 p.
3. *Шаповалова В. О.* Аналіз ринку нерухомості України з огляду теорій фінансового ринку / В. О. Шаповалова, Н. К. Максишко // Проблеми економіки. — Харків : Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України. — 2013. — № 3. — С. 31—39.
4. *Соловьев В. М.* Использование классических методов и методов нелинейной динамики для анализа рынка недвижимости Украины в контексте глобального финансово-экономического кризиса / В. М. Соловьев, И. О. Стратийчук // Социальные факторы устойчивого иннова-

ционного развития экономики : тез. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 22—23 сент. 2010 г.). — Минск, 2010. — С. 156.

5. *Шаповалова В. О.* Передпрогнозный анализ динамики цены на рынке недвижимости Украины / В. О. Шаповалова // Модели управління в ринковій економіці. — Донецьк : ТОВ «Цифрова типографія», 2012. — № 12. — С. 335—347.

6. *Филатов Д. А.* Применение нелинейной статистической модели Вега-Изинга для моделирования состояния финансовых рынков / Л. П. Яновский, Д. А. Филатов // Эконометрическое прогнозирование: модели и методы — 2005; Материалы Международной научно-практической конференции 29—30 апреля 2005 г.; в 2-х ч. — Воронеж: ВГУ, 2005. — Ч. 2. — С. 344—347.

7. *Яновский Л. П.* Анализ состояния финансовых рынков на основе методов нелинейной динамики / Л. П. Яновский, Д. А. Филатов // Финансы и кредит. — 2005. — № 32. — С. 2—9.

8. *Чеве́рда С. С.* Концепція моделювання поведінки цін на енергоносії на базі інструментарію дискретної нелінійної динаміки / С. С. Чеве́рда // Вісник Запорізького національного університету : зб. наук. праць. Економічні науки. — 2012. — № 2 (14). — С. 62—69.

9. *Цыпкин Я. З.* Информационная теория идентификации / Я. З. Цыпкин. — М. : Наука, Физматлит, 1995. — 336 с.

10. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / А. В. Матвійчук. — К. : КНЕУ, 2011. — 439 с.

11. *Матвійчук А. В.* Нечіткі, нейромережеві та дискримінантні моделі діагностування можливості банкрутства підприємств / А. В. Матвійчук // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. Науково-аналітичний журнал. — К. : КНЕУ, 2013. — № 2. — С. 71—118.

12. *Недосекин А. О.* Комплексная оценка риска банкротства корпорации на основе нечетких описаний [Электронный ресурс] / А. О. Недосекин. — Режим доступа: <http://sedok.narod.ru/sc-group.htm>.

13. *Чернов В. Г.* Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств / В. Г. Чернов. — М. : Горячая линия — Телеком, 2007. — 312 с.

14. Консалтингова компанія SV Development [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://svdevelopment.com>.

15. *Максишко Н. К.* Оцінювання системних характеристик економічної динаміки на базі результатів комплексного фрактального аналізу / Н. К. Максишко // Вісник Запорізького національного університету : зб. наук. праць. Економічні науки. — 2011. — № 2 (10). — С. 119—130.

16. *Максишко Н. К.* Анализ и прогнозирование эволюции экономических систем : монография / Н. К. Максишко, В. А. Перепелица. — Запорожье : Полиграф, 2006. — 248 с.

17. *Максишко Н. К.* Моделювання економіки методами дискретної нелінійної динаміки : монографія / Н. К. Максишко; наук. ред. проф. В. О. Перепелица. — Запоріжжя : Поліграф, 2009. — 416 с.

18. Грицюк П. М. Комплексний аналіз сонячної активності / П. М. Грицюк // Штучний інтелект. — 2008. — № 1 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2008_1/Journal-AI_2008_1/Razdel2/00_griutsyuk.pdf.

19. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М. : Наука, 1986. — 312 с.

20. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница: Универсум-Винница, 1999. — 320 с.

21. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. — М. : ЮНИТИ, 2001. — 1002 с.

References

1. Hodakivska, V. P., Danilov, A. D. (2001). *Rinok finansovih poslug*. Irpin : STS Academy of Ukraine [in Ukrainian].

2. Peters, E. (1996). *Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility*. New-York: John Wiley and Sons, Inc.

3. Shapovalova, V. O., Maksyshko, N. K. (2013). Analiz rynku neruhomosti Ukrainy z ogliadu teorii finansovogo rynku. *Problemy Ekonomiky (Problems of Economics)*, 3, 31—39 [in Ukrainian].

4. Solovyev, V., Stratiychuk, I. (2010). Ispolzovaniye klassicheskikh metodov i metodov nelineynoy dinamiki dlya analiza rynka nedvizhimosti. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Materials of International scientific conference)* Minsk, 22—23 September 2010, 156 [in Russian].

5. Shapovalova, V. O. (2012). Peredprognoznyi analiz dynamiki tsiny na rynku neruhomosti Ukrainy. *Modeli rinkovoi ekonomiki (Models of the market economy)*, 12, 335—347 [in Ukrainian].

6. Filatov, D. A., Yanovskiy, L. P. (2005). Primeneniye nelineynoy statisticheskoy modeli Vege-Izinga dlya modelirovaniya sostoyaniya finansovyh rynkov. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Materials of International scientific conference)* Voronezh, 29—30 April 2005, 2, 344—347 [in Russian].

7. Filatov, D. A., Yanovskiy, L. P. (2005). Analiz sostoyaniya finansovyh rynkov na osnove metodov nelineynoy dinamiki. *Finansy i kredit (The finance and credit)*, 32, 2—9 [in Russian].

8. Cheverda, S. S. (2012). Kontseptsia modeliuvannia povedinky tsin na energonosii na bazi instrumentariiu dyskretnoi neliniinoi dynamiky *Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universytetu: ekonomichni nauky (Bulletin of Zaporizhzhia National University: Economics)*, 2 (14), 62—69 [in Ukrainian].

9. Tsyppkin, J. S. (1995). *Informacionnaya teoriya identifikatsii*. Moscow : Nauka, Fizmatlit [in Russian].

10. Matviychuk, A. V. (2011). *Shtuchnyi intelekt v ekonomitsi: neironni merezhi, nechitka logika*. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].
11. Matviychuk, A. V. (2013). Nechitki, neiromerezhevi ta dyskriminantni modeli diagnostuvannia mozhlivosti bankrutstva pidpriemstv. *Neiro-nechitki tekhnologii modeliuvannia v ekonomitsi (Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics)*, 2, 71—118 [in Ukrainian].
12. Nedosekyn A. (2014). Kompleksnaya otsenka bankrotstva korporatsii na osnove nechetkih opisaniy. Retrieved February 1, 2014, from <http://sedok.narod.ru/sc-group.htm> [in Russian].
13. Chernov, V. (2007). *Modeli podderzhki prinyatiya resheniy v investitsionnoy deyatel'nosti na osnove apparata nechetkih mnozhestv*. Moscow : Goryachaya liniya — Telecom [in Russian].
14. Consaltingova kompaniia SV Development (2014). *svdevelopment.com*. Retrieved May 15, 2014, from <http://svdevelopment.com> [in Ukrainian].
15. Maksyshko, N. K. (2011). Otsiniuvannia systemnykh charakterystyk ekonomichnoi dynamiky na bazi rezultativ kompleksnogo fractalnogo analizu. *Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universytetu: ekonomichni nauky (Bulletin of Zaporizhzhia National University: Economics)*, 2 (10), 119—130 [in Ukrainian].
16. Maksyshko, N. K., Perepelytsia, V. O. (2006). *Analiz i prognozirovaniye evolutsii ekonomicheskikh sistem*. Zaporizhzhya : Poligraf [in Russian].
17. Maksyshko, N. K., Perepelytsia, V. O. (2009). *Modeliuvannia ekonomiky metodamy dyskretnoi nelineinoi dynamiky*. Zaporizhzhia : Poligraf [in Ukrainian].
18. Hrytsiuk, M. (2008). *archive.nbuv.gov.ua* Retrieved May 20, 2008, from http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2008_1/JournalAI_2008_1/Razdel2/00_gritsyuk.pdf [in Ukrainian].
19. Pospelov, D. A. (1986). *Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennoho intellekta*. Moscow : Nauka [in Russian].
20. Rotshtein, A. P. (1999). *Intellektualnyye tekhnologii: nechetkiye mnozhestva, geneticheskiye algoritmy, neyronnyye seti*. Vinnitsa : Universum-Vinnitsa [in Russian].
21. Ayvazian, S., Mkhitarian, V. (2001). *Prikladnaya statistika. Fundamentalnaya ekonometrika*. Moscow : Uniti [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 24.04.2014