

Рейкін В.С., Войтович С.Я. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНОУТВОРЕННЯ НА РИНКУ ЖИТЛОВОЇ НЕРУХОМОСТІ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із етапів дослідження ринку житлової нерухомості (РЖН) є прогнозування динаміки ціноутворення, що обов'язково ґрунтується на попередніх етапах моніторингу та аналізу ціноутворення житлових об'єктів. Для вирішення даного завдання необхідно здійснити вибір серед тих кількох десятків прикладних методів прогнозування, які переважно використовуються на практиці [1, с.51]. Оскільки РЖН є досить складною системою з огляду на значну кількість взаємозв'язків та типологію факторів впливу, можливість застосовувати екстраполяційні методи є неприйнятною. Детерміновані методи також не можуть бути використані для досягнення поставленої мети, оскільки походження цін на РЖН є стохастичним.

Внаслідок існування суттєвої ринкової невизначеності характер прогнозування ціноутворення на РЖН не вимагає досягнення абсолютної точності. Окрім того, прогнозування цінової динаміки для РЖН має певну притаманну йому специфічну ідеологію: врахувати всі наявні цінові чинники неможливо – доцільно скомпонувати вплив найбільш важливих із них. Оскільки частина умов не враховується, результат може бути отриманий у вигляді неточного, наближеного вихідного діапазону. Тому з метою коротко- та середньострокового прогнозування оптимальним є математичне моделювання на основі теорії нечіткої логіки, що застосовується для умов невизначеності та слабоформалізованих залежностей. Дотримання вказаних ознак досягається при використанні нейросіткових технологій, зокрема, нечітких нейронних мереж (ННМ).

Аналіз останніх досліджень. Теорія нечіткої логіки використовується у різноманітних сферах: медицині, економіці, біології, інженерії, та ін. Її застосування стало ефективним методом моделювання різноманітних процесів, що знайшло своє відображення у напрацюваннях як вітчизняних так і зарубіжних науковців. Зокрема, даній проблематиці особливу увагу приділяли наступні автори: Бочарніков В.П., Ротштейн О.П., Штовба С.Д., Недосекін А.О., Горбань А.Н., Сявакко М.С., Матвійчук А.В. та ін. Однак для сучасних процесів ринкового ціноутворення на РЖН застосування даної теорії потребує адаптованої методики прогнозного моделювання за допомогою ННМ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нечітке значення прогнозу відповідає способу реалізації поставленої задачі за допомогою ННМ. Даний тип моделей відноситься до динамічних за часовою ознакою, імітаційних сіткових моделей за ступенем формалізації та фактографічних за інформаційною підставою. При цьому в даному випадку можливість отримання інтервального результату є, на нашу думку, скоріше перевагою ніж недоліком при виборі інструменту прогнозування.

Проаналізувавши попередні напрацювання інших науковців [2; 3; 4; 5], наведемо узагальнену методику прогнозування ННМ, що складається із наступних етапів:

1. Обґрунтування вибору методу прогнозування.
2. Основні теоретичні положення та категорії ННМ.
3. Необхідні умови для застосування.
4. Розробка "архітектури" ННМ.
5. Формування бази даних та її підготовка.
6. Вибір функції належності та підбір її параметрів.
7. Формування бази знань терм-множин.
8. Дефазифікація вихідних параметрів.
9. Проведення "навчання" (настройки) ННМ
10. Отримання результатів прогнозування та верифікація моделі.

Практична значимість ННМ обумовлена відсутністю суттєвих обмежень щодо складності моделювання. До переваг даного типу економетричних моделей слід віднести наступне: 1) можливість проведення розрахунків із вхідними показниками (факторами впливу), що можуть задаватись як у кількісному вимірі, так і в якісному вираженні: у вигляді логічної термінології; 2) гнучкість ННМ, що проявляється у здатності до "самонавчання" (настройки), зміни структури причинно-наслідкових зв'язків за допомогою введення додаткових елементів; 3) прийнятна точність прогнозних результатів, що в окремих випадках може бути вищою ніж у класичних нейромереж (НМ), зокрема багатосарових перцептронів [6]; 4) прозорість ("видимість") архітектури ННМ з можливістю змістовного пояснення отриманого рішення; 5) не існує вимог до обмеження розмірності системи; 6) дослідження вхідних даних на відповідність "нормального" розподілу для ННМ не має значення.

Теоретичні основи побудови та функціонування ННМ були закладені вченим Л.Заде у його фундаментальній праці "Поняття лінгвістичної змінної та її застосування для прийняття наближених рішень" [7]. У своїй роботі автор керувався принципом несумісності: висока точність неприйнятна для математичного аналізу складних систем, які неможливо коректно визначити. Він фактично доповнив класичне поняття множини, допускаючи, що функція, яка характеризує належність певного елемента до множини, може приймати не тільки бінарне значення 0 чи 1 ("так" чи "ні"), але й набувати будь-якої

величини в діапазоні [0;1]. Л.Заде ввів поняття нечіткості і невизначеності. Відповідно, нечіткою множиною "Т" на універсальній множині "X" є сукупність пар $m_T(x), x$, де $m_T(x)$ – ступінь належності елемента "x" ($x \in X$) до нечіткої множини "Т". Згідно Л.Заде використовуються наступні позначення:

- x – назва змінної;
- T (x) – терм-множина змінної "x";
- T_i – і-тий нечіткий лінгвістичний терм для $T_i \in T, i = 1...n$;
- n – кількість термів;
- $m_{T_i}(x)$ – ступінь належності змінної "x" до T_i .

Ступінь належності знаходиться в інтервалі від 0 до 1 і чим він вищий, тим в більшій мірі елемент з універсальної множини володіє властивостями нечіткої множини. Базовим поняттям цієї теорії є лінгвістична змінна: "змінна, значення якої є слова або вирази природної або штучної мови" [7, с.7]. Сукупність всіх можливих значень (термів) лінгвістичної змінної утворює терм-множину. Формалізація термів здійснюється за допомогою спеціальних функцій належності, які дозволяють розрахувати ступінь належності будь-якого елемента універсальної множини до нечіткої множини. Тобто сутність терміну "функція належності" полягає в тому, що вона відображає розподіл суб'єктивно-оціночних мір ступенів належності $m_T(x)$ змінної "x" ($x \in X$) до певної нечіткої множини "Т".

Положення теорії нечітких множин практично реалізуються за допомогою побудови ННМ. Застосування НМ найбільш ефективно тоді, коли необхідно поєднати експертний досвід оцінки, інтуїцію та можливості комп'ютерної числової обробки. Фактично НМ є за своєю суттю універсальними апроксимуючими засобами, які не мають обмежених можливостей. Це математично було доведено вченим А.М.Колмогоровим: "можна отримати будь-яку неперервну функцію n змінних за допомогою операцій додавання, множення і суперпозиції із неперервних функцій однієї змінної" [8, с.34]. Питання, яке при цьому виникає – точність такого наближення. Вирішення даного аспекту проблеми було відображено в теоремі Стоуна, яка інтерпретується як наступне твердження: "за допомогою лінійних операцій і каскадного з'єднання можливо із довільного нелінійного елемента отримати пристрій, який розрахує будь-яку неперервну функцію з будь-якою наперед заданою точністю" [8, с.43].

Основна передумова для початку функціонування ННМ – наявність експериментальної бази даних (БД). При її формуванні постає питання компромісного вибору між кількістю вхідних факторів та масивом навчальної вибірки. Більша кількість початкових параметрів потребує більшого масиву вибірки, що значно ускладнює систему і як наслідок – погіршується процес майбутнього "навчання" (настройки моделі). Оскільки РЖН є достатньо складною системою, його імітаційна економіко-математична модель не може складатись з усіх можливих елементів і зв'язків, що описують систему, тому на етапі специфікації виділяються найбільш важливі фактори та принципіві умови. При групуванні складових елементів системи базовою умовою є їхня однорідність за походженням та можливість приведення різнорозмірних параметрів до спільного еквіваленту: процентного або бального вираження. Це дає змогу задавати кількісні фактори якісними лінгвістичними термами а також здійснювати обернену процедуру (дефазифікацію).

Вибір основних ціноутворюючих факторів на РЖН, які є вхідними параметрами моделі, ґрунтувався на попередньо здійснених нами логічному, порівняльному та кореляційному аналізах [10]. При цьому можливий інтервал зміни кожного параметра був заданий нами трьома лінгвістичними термами. Це дає змогу уникнути при формуванні баз знань (БЗ) невиправдано великої кількості навчальних правил, що ускладнює всю системну модель вже на початковому етапі та змогу запобігти виникненню непередбачених труднощів у майбутньому.

Графічна "архітектура" нечітко формалізованих зв'язків впливу вхідних факторів $X_1, X_2 \dots X_{12}$ на ціну "P" наведена на рис. 1 у вигляді дерева висновку.

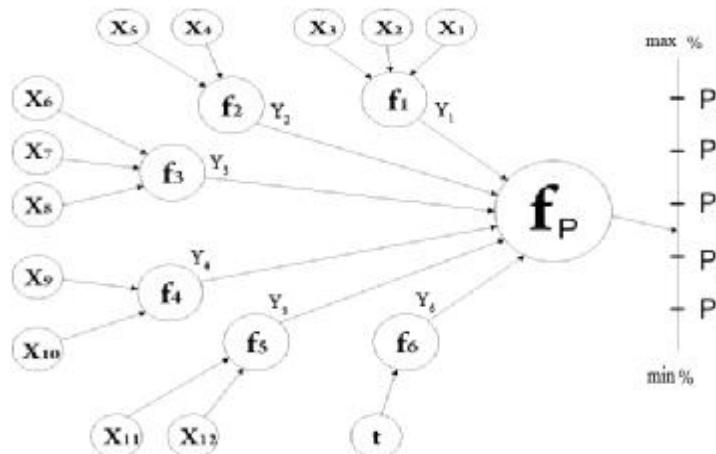


Рис. 1. Схема прогнозу моделі ціноутворення на РЖН.

У таб. 1 представлені найбільш впливові фактори з вказаними діапазонами їх зміни.

Таблиця 1. Основні ціноутворюючі фактори та їхні лінгвістичні терми

Змінна	Назва змінної	Універсальна множина	Лінгвістичні терми
x_1	Рівень середньо-місячних грошових доходів населення	(грн.) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_2	Обсяги трудових міграційних надходжень	(0-100) балів	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_3	Обсяги іпотечного кредитування	(млн.грн.) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_4	Сезонність	(0-100) балів	є (Є) можливий (М) відсутній (Ві)
x_5	Психологічний чинник	(0-100) балів	слабкий (СЛ) середній (С) високий (В)
x_6	ВВП	(млн.грн.) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_7	Обсяги грошової маси в Україні	(млрд.грн.) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_8	Місячний рівень інфляції (відсоток до попереднього місяця)	%	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_9	Обсяги інвестицій у житлове будівництво	(млн.грн.) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_{10}	Спекулятивний фактор	(0-100) балів	є (Є) можливий (М) відсутній (Ві)
x_{11}	Обсяги будівництва первинного сегменту	(млн.м ²) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
x_{12}	Середня ціна 1м ² новобудов	(грн.) %	низький (Н) середній (С) високий (В)
t	Глибина прогнозу (дні)	міс.	1 місяць (1 м) 3 місяці (3 м) 6 місяців (6 м)

Відповідно до рис. 1 залежності між параметрами ННМ у загальному вигляді задамо математичними функціями:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= f_1(x_1, x_2, x_3), y_2 = f_2(x_4, x_5), y_3 = f_3(x_6, x_7, x_8), \\
 y_4 &= f_4(x_9, x_{10}), y_5 = f_5(x_{11}, x_{12}), y_6 = f_6(t), \\
 P &= f_p(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6) \quad (1-7)
 \end{aligned}$$

Результатом прогнозного моделювання для певного часового періоду є один із можливих інтервалів $P_1, P_2 \dots P_5$ динаміки усередненої ринкової ціни 1м² житлових об'єктів порівняно до базового рівня.

Вхідні параметри запропонованої моделі були згруповані експертним способом, а структура причинно-наслідкових взаємозв'язків є типовою для даного виду ННМ. Прогнозна модель фактично складається із п'яти окремих підмоделей за допомогою введення додаткових фіктивних змінних "у" одного рівня. Дана ННМ є неповно зв'язною за структурою зв'язків (синапсів) і складається із 12 вхідних параметрів, з яких 4 задані якісно та 6 нейронів ($y_1 - y_6$) на одному проміжному шарі. У загальній постановці дана модель відноситься до класу "прямих" математичних задач послідовного поширення інформації: при заданих вхідних параметрах необхідно отримати вихідну результуючу величину (прогнозний предиктор). Тобто завдання є коректно сформульованим на відміну від класу обернених і комбінованих задач.

Запропонована модель є логічно "прозорою", що дає можливість чіткого бачення алгоритму рішення прогнозного завдання. Це досягається умовою, що 1 нейрон зв'язаний не більше ніж із 3 вхідними параметрами.

Наступним етапом згідно запропонованої методики прогнозування є формування і обробка бази даних (БД). Попередня підготовка кількісних факторів БД для наступного формування БЗ полягає у приведенні вхідних параметрів моделі різної розмірності до спільного еквіваленту. Подальша розробка нечітких правил БЗ здійснюється оперуючи бінарними значеннями змінної "х": процентною і бальною розмірністю, або однією із них.

Наявні особливості притаманні змодельованій ННМ для прогнозування ціноутворення на РЖН вимагають використання відповідного функціонального вираження. При використанні функції належності немає чітких єдиних критеріїв щодо її вибору через апріорну невизначеність прогнозованої моделі. Тому в першу чергу необхідно враховувати специфіку складових елементів ННМ. Якщо для НМ найчастіше використовуються сигмоїдальні функції, то для практичного застосування теорії нечітких множин основними типами є прямолінійні (для двох термів), трапецевидна та квазідзвоноподібна. Основна вимога при цьому – неперервність функції. Найбільш універсальною функцією, яка підходить для будь-якої кількості термів та має властивість налагодження ННМ є так званий "квазідзвін" [11]. Математичний вираз даної функції задається наступною формулою [4, с. 19]:

$$m(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - b}{c}\right)^2}, \quad (8)$$

де b – координата максимуму певного терма (наприклад, для трьох термів – низький (Н), середній (С), високий (В) – даний коефіцієнт можливо задати відповідно 0, 50 та 100 балів);

c – коефіцієнт концентрації, які характеризує "розтяги-стиснення" графіка функції належності.

Дана пара значень відповідає окремому лінгвістичному терму для кожної змінної x_i ($i=1,2...12$). Підбір фіксованих констант " b " і " c " та побудова функцій належності здійснюється експериментально та оцінюється експертно методом парних порівнянь на основі розроблених методик [4; 9; 12]. Фактично параметр " c " оцінюється усереднено як проміжок між точками перетину графіків сусідніх "квазідзвінів".

Наступним етапом, який відноситься до найбільш трудомістких і переважно визначає адекватність моделювання, є формування нечітких баз знань. Обов'язковою умовою коректно сформованої БЗ є її перевірка на семантичну відповідність: набір однакових лінгвістичних змінних одного правила не може приводити до різних логічних висновків. Фрагменти БЗ для проміжної змінної " y_1 " та результуючої БЗ для змінної " P ", побудованих за ієрархічним принципом відповідно до схеми на рис. 1, подано у таблицях 3, 4.

Таблиця 3. Фрагмент бази знань: моделювання залежності " y_1 " від $X_1...X_3$

Вхідні змінні			Вихідна змінна	Вага правила
X_1	X_2	X_3	y_1	W
Н	Н	Н	Н	w_1
С	В	В	В	w_2
Н	С	Н	Н	w_3
Н	Н	С	НС	w_4
С	Н	С	НС	w_5
Н	С	С	НС	w_6

Таблиця 4. Фрагмент бази знань: моделювання залежності "P" від $u_1 \dots u_6$

Вхідні змінні						Вихідна змінна	Вага правила
u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	P	W
Н	С	НС	Н	НС	1	НС	W_7
В	ВС	НС	В	НС	3	ВС	W_8
В	ВС	В	В	В	6	В	W_9
Н	С	С	Н	НС	1	НС	W_{10}
ВС	ВС	В	ВС	НС	3	ВС	W_{11}

Загальна схема семантичних правил БЗ має вигляд висловлювань: *ЯКЩО* \langle ВХІД \rangle *І* \langle ВХІД \rangle ... *ТО* \langle ВИХІД \rangle . Відповідно, наприклад, щодо БЗ змінної u_1 , то нечіткі логічні висловлювання для терму НС є наступні:

Якщо $[X_1 = Н]$ та $[X_2 = Н]$ та $[X_3 = С]$ або якщо

$[X_1 = С]$ та $[X_2 = Н]$ та $[X_3 = С]$ або якщо

$[X_1 = Н]$ та $[X_2 = С]$ та $[X_3 = С]$ то $u_1 = НС$.

Відповідно для всіх інших правил висловлювання прописуються аналогічно. Чітка реалізація прогнозного моделювання досягається за рахунок переходу від окремих лінгвістичних правил до нечітких логічних рівнянь. Для цього необхідно здійснити заміну нечітких термів на значення їхніх функцій належності $m_{T_i}(x)$, а також заміну висловлювань "та", "або" на нечіткі логічні операції перетину та об'єднання для терм-множин " \bullet ", " \vee ". Вага кожного правила із БЗ враховується шляхом множення окремого рядка матриці на відповідне значення W_i . Для композиції нечітких правил із БЗ змінної u_1 фрагмент логічного рівняння матиме наступний вигляд (згідно таб. 3):

$$u_1 = НС$$

$$m^{НС}(u_1(x_1, x_2, x_3)) = w_4[m^H(x_1) \cdot m^H(x_2) \cdot m^C(x_3)] \vee w_5[m^C(x_1) \cdot m^H(x_2) \cdot m^C(x_3)] \vee w_6[m^H(x_1) \cdot m^C(x_2) \cdot m^C(x_3)] \quad (9)$$

Для нечітких правил із БЗ змінної P логічні рівняння прописуються аналогічно. Сукупність всіх можливих значень функцій належності змінної "P" буде нечітким розв'язком системи логічних рівнянь.

На завершальному етапі моделювання необхідно здійснити обернений перехід від множини нечітких значень функцій належності до конкретного числового розв'язку вихідної змінної "P". Проведення такої операції має назву дефазифікації вихідного параметра [4, с.30]. Для теорії нечіткої логіки суть цієї процедури тотожна знаходженню очікування випадкових величин у теорії ймовірності. Для безперервної дискретної вихідної змінної здійснюється із застосуванням методу центру ваг [9, с. 181].

Побудована нами прогнозна модель ціноутворення у вигляді ННМ потребує подальшого налаштування та перевірки її на адекватність. Це досягається за допомогою останнього етапу моделювання: "навчання" ННМ. Суть навчання полягає у оптимізації параметрів b , c дзвоноподібної функції належності і вагових коефіцієнтів правил БЗ для всіх термів та кожної змінної з метою оптимізації критерію якості моделі. З метою "тонкої" настройки БЗ та мінімізації впливу експертного суб'єктивізму при формуванні нечітких логічних висновків використовується автоматизований алгоритм підбору значень ваг W для навчальних правил БЗ. Він має назву "error back-propagation" – алгоритм зворотного поширення похибки і є складовою частиною прикладних програм прогнозування [9]. Його сутність полягає у мінімізації величини похибки для всіх змінних ННМ і детально розроблений для дзвоноподібної функції [4, с.28]. Критерієм завершення процесу самонавчання є досягнення заданої точності, або зупинка коректування значень "W" у результаті незменшення похибки ННМ. Величина похибки залежить насамперед від обсягу і точності вхідних даних моделі, повноти опису (узагальнення) процесів ціноутворення нечіткими логічними правилами та їхньої

кількості. Досягнення успішного навчання ННМ фактично означає підтвердження тісноти зв'язку причинно-наслідкових закономірностей, що існують між вхідними параметрами і результуючою змінною "Р".

Висновок. Запропонована нами адаптована методика прогнозування ціноутворення для умов РЖН на базі теорії нечіткої логіки є ефективною. Порівняно з іншими моделями прогнозування основною її перевагою є можливість доповнення БД, врахування як кількісних, так і якісних факторів впливу, гнучкість виражена здатністю до "самонавчання". Дана модель у вигляді ННМ є адекватною щодо її застосування та може використовуватись у своїй діяльності суб'єктами РЖН при прогнозуванні цін на житлові об'єкти.

Джерела та література

1. Глівенко С.В. Економічне прогнозування: [Навчальний посібник] / Глівенко С.В., Соколов М.О., Теліженко О.М.; [3-те вид., доп.]. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2004. – 207 с.
2. Бочарников В.П. Fuzzy-технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике / Бочарников В.П. – Санкт-Петербург: "Наука" РАН, 2001. – 328 с.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / Кофман А. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
4. Матвійчук А.В. Аналіз та прогнозування розвитку фінансово-економічних систем із використанням теорії нечіткої логіки: [Монографія] / А.В. Матвійчук – К.: Центр навчальної літ-ри, 2005. – 206 с.
5. Ротштейн О.П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: [Монографія] / О.П. Ротштейн, Є.П. Ларюшкін, Ю.І. Мітюшкін – Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 2008. – 144 с.
6. Штовба С.Д. Прогнозирование результатов футбольных матчей на основе нечетких правил / С.Д. Штовба, В.В. Вивдюк // Вестник молодых ученых. Серия: Экономические науки. – 2002. – №1. – С. 57-64.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Заде Л. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
8. Горбань А.Н. Нейроинформатика / А.Н. Горбань, В.Л. Дунин-Барковский, А.Н. Кирдин и др. – Новосибирск: "Наука". Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296 с.
9. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: "Горячая линия - Телеком", 2007. – 288 с.
10. Рейкін В.С. Вплив факторів на ціну об'єктів ринку житлової нерухомості / Рейкін В.С. // Економічні науки. Серія "Регіональна економіка": [зб. наук. праць ЛНТУ / відп. ред. Герасимчук З.В.]. – Луцьк, 2008. – Вип. 5 (17), ч. 3 – С. 161-172.
11. Скофенко А.В. О построении функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам / Скофенко А.В. // Науковедение и информатика. – К.: Наукова думка, 1981. – Вип. 22. – С. 70-79.
12. Ротштейн О.П. Метод побудови функцій належності нечітких множин / Ротштейн О.П., Черноволик Г.О., Ларюшкін Є.П. // Вісник ВПІ. – 1996. – №3. – С. 72-75.

Беленька Г.В.

МОДЕЛЮВАННЯ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ ПІД ВПЛИВОМ КРИЗИ: КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДОЛОГІЙ

Вступ

В умовах глобальної економічної кризи, вплив якої Україна відчула з другої половини 2008 року, особливої важливості набуває проблема аналізу стану банківської системи. Моделювання банківського сектору та впливу на нього різних типів банківських ризиків дозволяє розробити рекомендації щодо посилення стійкості окремих банківських установ, стабільності фінансової системи держави, і в результаті, позитивно впливає на стан економіки в цілому, сприяючи скорішому подоланню наслідків кризи.

Постановка проблеми

В українській дослідницькій літературі описано низку методів та підходів до оцінки стану банківської системи. Проте, по-перше, більшість з описаних методів є відносно статичними, оскільки дозволяють кількісно визначити ключові показники для системи тільки станом на певний момент у минулому (слід зазначити, що дані для дослідження також надходять з певним часовим лагом). По-друге, під час криз спостерігається волатильність у вхідних даних, викликана нестандартними змінами в характеристиках економічного середовища, що перешкоджає побудові адекватних прогнозів на основі історичних даних та значно ускладнює застосування багатьох з поширених методів моделювання, які вимагають відносної стабільності у даних (так званих «нормальних умов функціонування економіки»). Крім того, упродовж останніх десяти років в Україні відбувався стрімкий розвиток фінансової інфраструктури та банківського сектору, отже, методологія дослідження цих галузей повинна враховувати такі структуральні зрушення.

Таким чином, виникає необхідність у розробці методологічного інструментарію, який дозволив би адекватно оцінити стан української банківської системи в умовах кризи, що викликає потребу в критичному аналізі світового досвіду дослідження зазначеної проблеми та оцінці адекватності використання наявних методологій для України.