

Л.В. Сорокіна,

докт. екон. наук, професор
ORCID: 0000-0002-9981-4615

А.Ф. Гойко,

канд. екон. наук, професор
ORCID: 0000-0002-9591-0829

Київський національний університет будівництва та архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦІНОУТВОРЮЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕРУХОМОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Запропоновано підхід до прогнозування вартості житла із використанням модифікованих вейвлет-перетворень часових рядів, який можна використовувати для складання оптимістичних, нейтральних та песимістичних сценаріїв реалізації інвестиційних проектів будівництва житла.

У статті запропоновано спосіб модифікації дискретного вейвлет-перетворення Хаара, застосування якого дозволяє отримати результати, придатні для змістовної економічної інтерпретації. З метою забезпечення економічної інтерпретації деталізуючих коефіцієнтів часового ряду запропоновано модифікацію для коефіцієнтів вейвлетів, що полягатиме у діленні наборів деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів на показники, обернені квадрату нормувальних множників. Модифікація вейвлету дозволила сформулювати економічну інтерпретацію перетворення: для деталізації середньо квартального показника необхідно знати наскільки значення першого та другого відліку (зсуви на 0 і 1 від початку) відхиляються від свого середнього, що покаже дисбаланс економічного процесу на початку відліку-трійки. Згорання тенденції росту виявиться у додатних результатах вейвлет-перетворення, натомість спекулятивний ріст економічної величини наприкінці кварталу відповідатиме від'ємним результатам.

Запропонована модифікація вейвлет-перетворення на основі вейвлету Хаара була застосована для часових рядів вартості будинків у Київській області за період з 2014 по 2018 рр. Вейвлет-розкладання вартісних показників ринку житла у Київській області дало змогу виявити випереджувальні сигнали дисбалансів попиту і пропозиції, які виявляються у неочікуваному зростанні цін нерухомості.

Виявлено, що вартість житла у Згурівському районі Київської обл. характеризується усталеною тенденцією щодо зниження ціни. На це вказують додатні значення всіх вейвлет-перетворень за кожен з наведених кварталів. За допомогою видозміненого вейвлет-аналізу визначені попереджувальні індикатори дестабілізації попиту і пропозиції на ринку житла в сільській місцевості. Доведено доцільність застосування регресійного аналізу до результатів вейвлет-перетворень часових рядів економічних показників.

Ключові слова: часовий ряд, дискретне вейвлет-перетворення Хаара, коефіцієнт масштабування, коефіцієнт апроксимації, деталізуючий

коефіцієнт, фільтр, тренд, вартість житла, активізація економічних процесів.

Постановка проблеми. Ціна пропонування об'єктів нерухомості є вирішальним чинником для прийняття рішень щодо доцільності інвестування капіталу у будівництво. Порівнюючи її з питомим показником кошторисної вартості спорудження об'єкту, інвестор може визначати рентабельність будівництва не лише на момент розробки проекту, але й спрогнозувати її зміну для всього життєвого циклу інвестиційного проекту. Звичайно, на передінвестиційній стадії необхідно розраховувати майбутні вхідні та вихідні грошові потоки, для чого найчастіше застосовується екстраполяція ретроспективних тенденцій зміни вартості ресурсів і кінцевої будівельної продукції. Тобто процес підготовки економічного обґрунтування доцільності інвестиційно-будівельних проектів є комплексним опрацюванням часових рядів вартісних показників: аналіз, встановлення домінуючих тенденцій, екстраполяцію їх на коротко- й середньострокову перспективу. Потужним засобом дослідження змін потоку показників упродовж певного періоду часу є вейвлет-аналіз, основну ідею та елементи розрахункових процедур якого доцільно використати і в управлінні економікою будівництва та нерухомості.

Вейвлет-аналіз передбачає використання низки трудомістких обчислювальних процедур, в основу яких покладено громіздкі формули, досить складні для сприйняття пересічним фахівцем у галузі економіки. Тому і досі **невирішеною частиною проблеми** залишаються способи адаптації процедур вейвлет-перетворень для опрацювання економічної інформації.

Аналіз публікацій. Переважна більшість наукових досліджень в частині використання вейвлет-перетворень часових рядів економічних даних присвячена дослідженню тенденцій валютного й фінансового ривків, стабільності банківської системи [2, 6, 7, 10]. Особливої уваги заслуговують роботи, в яких висвітлюються методичні підходи для прогнозування кризових явищ [1, 3, 5, 11], а також використання вейвлет-аналізу для апроксимації тенденцій ефективності управління витратами промислових підприємств [8]. Окремий, беззаперечно перспективний, напрямок наукових досліджень із використанням вейвлетів – проектування нейро-нечітких систем та розпізнавання образів розвинуто в роботах [4, 9, 12, 13]. Втім, і досі відсутні розробки в частині використання вейвлет-аналізу для управління інвестиційно-будівельним процесом.

Метою статті є дослідження тенденцій ринку житла Київської області з використанням елементів вейвлет-перетворень.

Виклад основного матеріалу. **Вейвлет-перетворення (wavelet**, вейвлет, хвилюк, хвилюкові перетворення) – **засіб перетворення масивів інформації**, що дає змогу визначити основні й другорядні їх характеристики. Усі вейвлет-перетворення розглядають функцію (взяту як функцію від часу) у термінах коливань, локалізованих за часом (простором) і частотою. Локальність у просторі означає, що енергія хвилюк (вейвлетів) сконцентрована на скінченному інтервалі, тобто функція вейвлет-перетворень застосовується на компактному носії, іншими словами для певного чітко окресленого проміжку часу зміни економічного показника. **Основна ідея** вейвлет-перетворень полягає в тому, що **перетворення,**

не змінюючи форми, «рухається» уздовж часової осі. Тобто сукупність обґрунтованих вагових коефіцієнтів (вейвлет-коефіцієнтів) **переміщується в часі**, шоразу застосовуючись до нових даних.

Якщо $s(t)$ – сигнал, а ψ – вейвлет, то за неперервного перетворення вейвлет-коефіцієнти, які відповідають масштабному коефіцієнту, a , і положенню b визначаються за формулою:

$$d_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

Практично сигнал задається вибіркою $s(t)$. Тоді в якості $s(t)$ обирають кусково-постійну функцію $s(k \cdot \Delta t)$, де Δt – крок функції. Масштабний коефіцієнт, a , також змінюється, набуваючи низки дискретних значень, які забезпечують **умови нормування вейвлет-коефіцієнтів**.

У дискретному випадку процедура обґрунтування вейвлет-коефіцієнтів значно спрощується, однак обов'язковими є наступні умови:

1. **Компактний носій.**
2. Можливість формулювання **функціональної залежності для коефіцієнтів апроксимації $\varphi(t)$** .
3. Можливість утворення **родин функцій, які відображали навіть найменші хвилі.**

Набори вейвлет-коефіцієнтів для N -масштабуючих функцій Хаара визначаються із **ортогональної системи**, яка має **безліч розв'язків**:

$$\left. \begin{cases} \sum_{j=1}^N \varphi_j \cdot \psi_j = 0 & (\text{умова нульового перетину}) \\ \sum_{j=1}^N (\varphi_j)^2 = 1 \\ \sum_{j=1}^N (\psi_j)^2 = 1 \end{cases} \right\} (\text{умови замикання}) \quad (1)$$

Найпростіший, але не єдиний, варіант добору коефіцієнтів **дискретного перетворення** для будь-якого розміру носія (N) визначається за допомогою матриці, рядки якої **нормуються**

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & -3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & -N+1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

У першому рядку – **фільтри низької частоти**, тобто коефіцієнти апроксимації, які значною мірою подібні до обчислення **середнього арифметичного**, особливо, якщо функцію апроксимації поділити на N і $\frac{1}{\sqrt{N}}$

винести за знак суми:

$$\varphi(t) = \sqrt{N} \sum_{j=0}^{N-1} h_j \cdot \varphi(Nt - j) \div N \quad \text{або} \quad \frac{\varphi(t)}{N} = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{1}{N} \cdot \varphi(Nt - j) \quad (3)$$

де N – коефіцієнт масштабування, тобто кількість елементів часового ряду, яка утворює носій функції вейвлет-перетворення $\varphi(t)$ для коефіцієнтів апроксимації;

$\varphi(Nt - j)$ – цілочисельні зрушення масштабуючої функції.

Решта рядків матриці (2) містить деталізуючі коефіцієнти, тобто фільтри високих частот. Саме вони і є вейвлетами, оскільки дають змогу в сукупності із коефіцієнтами першого рядку повністю відтворити вихідний масив інформації. Особливістю N -масштабуючих функцій вейвлет-перетворення $\varphi(t)$ є утворення $N-1$ вейвлетів, потрібних для повного відтворення ряду. Перевагою вейвлет-аналізу є зменшення вихідного масиву даних, адже частина варіації часового ряду, в тому числі й економічних показників, може містити випадкові варіації, білий шум, яким можна знехтувати без втрати основних тенденцій. Це дає змогу залишити для аналізу не всі вейвлети, а тільки ті, що відображають найсуттєвіші коливання досліджуваного показника. Натомість періодичні «викиди» аналізованої величини, які будуть встановлені при допомозі високочастотних фільтрів, варто залишити для аналізу, поряд із результатами апроксимації. Так, значна варіація деталізуючих коефіцієнтів деяких вейвлетів має тлумачитись як випереджуючі, або поточні індикатори кризових тенденцій: перегріву, або обвалу ринку, зростання інфляції, або посилення девальваційних процесів. Для встановлення доцільності чи недоцільності збереження інформації вейвлетів до результатів вейвлет-аналізу у подальшому застосовують традиційні статистичні методи аналізу: обчислення показників центру ряду, варіації, регресії із відповідними надійними інтервалами, подальше масштабування методом головних факторів.

Зміни елементів матриці (2) спричиняють зміни змістовної інтерпретації деталізуючих коефіцієнтів. Розмір носія, N , ще має назву **коефіцієнта масштабування**. Нормувальні коефіцієнти елементів матриці (2) для кожного з рядків є величиною, оберненою до квадратного кореня суми квадратів елементів цього рядка. Наприклад, для сигналу, тобто часового ряду, поділеного на послідовні трійки елементів, розмір носія дорівнює трьом ($N=3$). Прикладом такого дискретного перетворення із трьохелементним носієм є помісячна розбивка часового ряду економічних показників у межах кварталу. Тоді переміщення уздовж часової осі вейвлет-перетворення відповідатиме аналізу щомісячних даних в межах кожного кварталу. Таке дослідження особливо важливе для вивчення динаміки фінансових і матеріальних потоків в розрізі окремих кварталів, насамперед в аспекті проблеми податкової оптимізації. Адже підприємства, прагнучи мінімізувати свої податкові зобов'язання, можуть варіювати із датами закриття актів виконаних робіт, відвантаження продукції та їх оплати таким чином, що у перший чи останній місяць кварталу вказані показники суттєво відрізнятимуться. Зокрема, в останній місяць кварталу значно зростатимуть витрати, чим мінімізуватиметься фінансовий результат, у той час як перший місяць наступного кварталу виявлятиме значне зростання грошових надходжень

за рахунок погашення зобов'язань попередніх кварталів. Особливо яскраво часова нерівномірність грошових потоків буде виявлена в результаті аналізу деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів, встановлених при допомозі «високочастотних» фільтрів. Їх коефіцієнти містяться у всіх рядках матриці перетворень (2), окрім першого, а доцільність використання кожного конкретного перетворення (рядка матриці (2)) впливає з економічного змісту вейвлет-перетворень.

Для вейвлетів із коефіцієнтом масштабування $N=3$ матриця Хаара (2) набуває вигляду:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \xrightarrow{\substack{\text{нормувальні множники} \\ \text{однакові для всіх елементів рядку}}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (-1)^2 + 0^2}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + (-2)^2}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Враховуючи запропоновану **модифікацію вейвлет-перетворення (4)**, ділення функції апроксимації на величину апроксимуючого коефіцієнта (3) для низькочастотного фільтра, одержимо середньоквартальний показник економічного часового ряду. На графіку (рис. 1а) низькочастотний фільтр відповідає суцільній прямій лінії на рівні $\frac{1}{3}$ для аналізованої трійки даних

часового ряду (зі зрушенням на нуль, один та два номери від початку носія) і рівний нулеві для інших елементів ряду.

З метою забезпечення економічної інтерпретації деталізуючих коефіцієнтів часового ряду **пропонуємо подібну модифікацію і для коефіцієнтів обох вейвлетів. Вона** полягатиме у діленні наборів деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів на показники, обернені квадрату нормувальних множників.



Рис. 1. Модифіковані коефіцієнти апроксимації і деталізації вейвлет-перетворення Хаара з коефіцієнтом стискування $N=3$ (Авторська розробка)

Так, для першого вейвлета, коефіцієнти якого відповідають другому рядку матриці (4), одержимо:

$$\frac{\psi_{1,1}(t)}{2} = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{1}{2} \psi_{1,1}(Nt - j) = \frac{1 \cdot x_0 + (-1) \cdot x_1 + 0 \cdot x_2}{2} = \frac{x_0 - x_1}{2}, \quad (5)$$

де x_0, x_1, x_2 – відповідно елементи часового ряду аналізованого економічного показника, що утворюють набір-«триїку». Нижні індекси відображають зсув – на нуль, один та два номери від початку носія. Модифікація вейвлету (5) дозволила сформулювати зрозумілу економічну інтерпретацію перетворення: для деталізації середнього квартального показника необхідно знати наскільки значення першого та другого відліку (зсуви на 0 і 1 від початку) відхиляються від свого середнього. Іншими словами, модифікований вейвлет – абсолютний показник варіації першої частини кварталу, він показує **активізацію** економічного процесу на початку відліку-триїки. Оскільки від початкового значення віднімається наступне, про активацію, тобто розгортання тенденції **росту** свідчитимуть **від’ємні** результати вейвлет-перетворення. Натомість додатні значення функції (5) виявлятимуть зменшення досліджуваного показника всередині кварталу, порівняно з його початком. На рис. 1б наведено коефіцієнти модифікованого вейвлету. Порівняно з рис. 1а, конфігурація графіка 1б є більш ламаною, за 3 аналізовані відліки графік «стрибає» з максимального рівня до мінімуму, повертаючись до нульового рівня, що зберігається після зсуву на 2. Конфігурація графіка 1б наочно демонструє поняття «вейвлет», тобто маленьку хвилю, а також сутність використання високочастотного фільтра: виявляються закономірності зміни показника на інтервалі, коротшому за носій вейвлет-перетворення (порівнюються 2 місяці, а не складові всього кварталу віцілому).

Модифікація другого вейвлету орієнтована на дослідження коливань економічного показника в останньому місяці кварталу:

$$\frac{\psi_{1,2}(t)}{6} = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{1}{6} \cdot \psi_{1,2}(Nt - j) = \frac{1 \cdot x_0 + 1 \cdot x_1 + (-2) \cdot x_2}{6} = \frac{x_0 + x_1}{2} - x_2, \quad (6)$$

Співвідношення (6) дозволяє виявити варіацію аналізованого економічного показника в останній місяць кварталу, оскільки показує, якою мірою зменшиться показник в останньому місяці кварталу, порівняно із його рівнем, усередненим за 2 перші місяці. Встановлене зменшення рівномірно розподіляється між місяцями кварталу, деталізуючи економічний інтерес у зменшенні чи збільшенні потоку благ чи коштів упродовж кварталу. Той чи інший економічний інтерес може трактуватись як «спекулятивний мотив». Згортання тенденції росту виявиться у додатних результатах вейвлет-перетворення, натомість спекулятивний ріст економічної величини наприкінці кварталу відповідатиме від’ємним результатам формули (6). Модифіковані коефіцієнти другого вейвлету, відповідні формулі (6) представлено на рис. 1в. Конфігурація цього графіку також відображає маленьку хвилю серед порівняно постійних рівнів на початку кварталу та після його завершення. Такий високочастотний фільтр орієнтований на завершальну частину кварталу.

Необхідною умовою вейвлет-перетворення є можливість відтворення масиву вхідних даних на основі блоків інформації, виокремлених за допомогою апроксимації та деталізації на всіх рівнях. Запропонована у дослідженні модифікація вейвлет-коефіцієнтів Хаара (3), (5), (6) дозволяє відтворити вихідні дані шляхом елементарних арифметичних операцій. У матричному вигляді відтворення вихідної інформації є добутком перетворених даних і матриці,

оберненої матриці вейвлет-коефіцієнтів, і запропонована модифікація не є перешкодою даних процедури.

Таблиця 1

**Розкладання і відтворення показників вартості будинків Згурівського р-ну
Київської обл. за допомогою модифікованого вейвлету Хаара**

Вартість будинків (ціни на будинки, \$/кв.м)	7.2017	8.2017	9.2017	10.2017	11.2017	12.2017	1.2018	2.2018	3.2018
	\$227	\$225	\$223	\$222	\$220	\$218	\$217	\$215	\$213
Розкладання ряду									
середня за квартал		a	$225=(227+225+223)\cdot 1/3$	$220=(222+220+218)\cdot 1/3$	$215=(217+215+213)\cdot 1/3$				
			\$225	\$220	\$215				
активіз ація на ринку	почато к квартал у	d(1.1)	$1=(227-225)\cdot 1/2$	$1=(222-220)\cdot 1/2$	$1=(217-215)\cdot 1/2$				
зменш. у 2-му місяці проти 1			\$1	\$1	\$1				
спекуля ція на ринку	кінець квартал у	d(1.2)	$1=(227+225-2\cdot 223)\cdot 1/6$	$1=(222+220-2\cdot 218)\cdot 1/6$	$1=(217+215-2\cdot 213)\cdot 1/6$				
зменш. у 3-му місяці проти усередненого за 1—2			\$1	\$1	\$1				
Відновлення ряду									
Формули для розрахунку	1-й місяць $a+d(1.1)+d(1.2)$			2-й місяць $a-d(1.1)+d(1.2)$			2-й місяць $a-d(1.1)+d(1.2)$		
Відновлені значення	\$227	\$225	\$223	\$222	\$220	\$218	\$222	\$220	\$218
Розрахунок	$225+1+1$	$225-1+1$	$225-2\cdot 1$	$220+1+1$	$220-1+1$	$220-2\cdot 1$	$220+1+1$	$220-1+1$	$220-2\cdot 1$

(Розраховано авторами за даними

http://www.svdevelopment.com/ua/web/house_costs/)

Запропонована **модифікація вейвлет-перетворення на основі вейвлету Хаара** була застосована для часових рядів вартості будинків у Київській області за період з 2014 по 2018 рр. У табл. 1 наведено приклад розкладання та відтворення показників вартості будинків у Згурівському районі Київської області.

Звичайно, для повного, як найточнішого відтворення вихідного дев'ятиелементного ряду потрібно 3 трьохелементних ряди: для середнього, тобто показники апроксимації, та 2 набори вейвлет-перетворень деталізуючих

коефіцієнтів – відповідно для першого та останнього місяців кварталів. З їх допомогою три послідовних відліки ціни нерухомості (x_0, x_1, x_2) можна замінити іншими трьома числами, які узагальнюють основну тенденцію і забезпечують її деталізацію для кожного конкретного відліку (a – коефіцієнт апроксимації і деталізації деталізації, відповідно $d_{1,1}$ і $d_{1,2}$). Матричні співвідношення коефіцієнтів розкладання і відтворення часового ряду для модифікованого вейвлету Хаара, розкриті у табл. 1, мають вигляд:

$$H = [a \quad d_{1,1} \quad d_{1,2}] = X^* \cdot A = [x_0 \quad x_1 \quad x_2] \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & -\frac{2}{6} \end{bmatrix} \rightarrow \text{вейвлет-розкладання}$$

$$X^* = [x_0 \quad x_1 \quad x_2] = H \cdot A^{-1} = [a \quad d_{1,1} \quad d_{1,2}] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -2 \end{bmatrix} \rightarrow \text{вейвлет-відновлення}$$

З табл. 1 видно, що вартість житла у Згурівському районі Київської обл. характеризується усталеною тенденцією щодо зниження ціни. На це вказують додатні значення всіх вейвлет-перетворень за кожен з наведених кварталів. З економічної точки зору негативна динаміка ціни житла у Згурівському районі, насамперед, зумовлена місцем розташування об'єктів нерухомого майна: чимала віддаленість будівель від обласного центру, в якому наявні робочі місця, значно краще розвинута інфраструктура, вищий рівень задоволення потреб населення, спричиняє високі транспортні витрати, що нівелюють економію на купівлі будинків. Низька привабливість об'єктів, побудованих у Згурівському районі, для покупців дає подальші поштовхи для здешевлення житла.

Усталене значення всіх вейвлет-розкладань дає підстави для редукції даних, оскільки суттєвих коливань загальної тенденції зменшення ціни не відбувалось у жодному з місяців з липня 2017 по березень 2018 включно. Тому поданий в табл. 1. 9-елементний ряд без суттєвих втрат точності можна замінити трьохелементним рядом середніх за квартал показників вартості житла: \$225 за 1 кв.м у 3-му кварталі 2017, \$220 за 1 кв.м у 4-му кварталі 2017, \$215 за 1 кв.м у 1-му кварталі 2018 р.

Поглиблене вивчення динаміки цін житла у Київській області дало змогу зробити висновок щодо усталеної тенденції повільного зменшення ціни на ринку житла, яка спостерігається починаючи із квітня місяця 2014 р. Це дозволяє використовувати трендові рівняння для складання прогностичних інвестиційних розрахунків грошових потоків. З цією метою можна суттєво скоротити обчислювальні процедури, вдаючись до результатів вейвлет-аналізу. Зокрема, трендові рівняння можна складати на основі апроксимаційних коефіцієнтів розкладання часового ряду із подальшим введенням коригувальних поправок, які враховують варіацію деталізуючих коефіцієнтів. Розмір зазначених поправок, на нашу думку, має визначатись верхньою межею надійного інтервалу середнього значення деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів. На рис. 2(а–в) подано результати трендового аналізу часових рядів цін житла у Згурівському р-ні Київської обл., проведеного для показників вартості, встановлених агентством нерухомості в розрізі окремих місяців (рис. 2 а), і редукованих даних, які є апроксимаційними коефіцієнтами вейвлет-перетворення (рис. 2 б) та деталізуючими коефіцієнтами

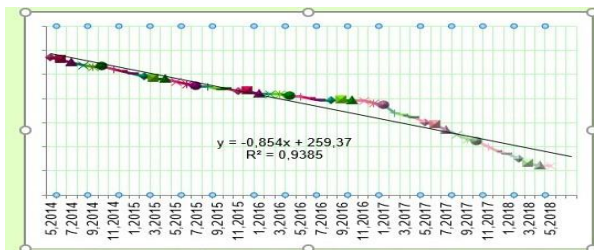
другого вейвлету, що відображає тенденції зміни цін наприкінці кожного кварталу, проти усереднених значень першої частини кварталу (рис. 2 в). Виходячи з результатів трендового аналізу (рис. 2 а,б), виявлено високу достовірність апроксимації лінійним трендовим рівнянням як безпосередніх даних, так і щоквартальних усереднень – відповідні показники детермінації 0,938 і 0,869. Через узагальнення трійок щомісячних відліків суттєво відрізняють коефіцієнти нахилів трендових ліній. Так, виходячи із залежності, одержаної для щомісячних даних (рис. 2а), виявляється, що кожного місяця ціна квадратного метру житла зменшується на 85,4 центи, натомість щоквартальне зменшення ціни має більш стрімкий темп – \$3,08 на 1 кв.м. Оскільки вейвлет-перетворення дає змогу «збільшити масштаб» охоплення аналізованих даних, перевагу варто віддати саме другій моделі (з рис. 2 б), в якій нівельовано випадкові коливання ціни.

Натомість варіація деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів не характеризується визначеною тенденцією до зростання чи збільшення: візуально помітна невідповідність конфігурації графіка рис. 2 в і трендової прямої, коефіцієнт достовірності апроксимації має дуже низьке значення, лише 13,5% мінливості коефіцієнтів деталізації зумовлено фактором часу, а решта – іншими випадковими чинниками. За весь ретроспективний горизонт деталізуючі вейвлет-коефіцієнти на перевищували \$1 за 1 кв.м, причому стабільне уповільнене зменшення вартості житла розпочалося із травня 2014 року, попри стрімку девальвацію національної валюти та різке зростання гривневих цін. В результаті проведеного аналізу мінливості деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів встановлено, що для першої частини кварталу межі зменшення ціни житла $\$1,33 \pm 0,54$ за 1 кв.м, а для завершення кварталу скорочення ціни становить $\$0,51 \pm 0,22$ за 1 кв.м. Півширина надійного інтервалу в обох випадках встановлена із рівнем значимості 0,05 при числі ступенів волі 9. Отже, ознаки дестабілізації ринку нерухомості Згурівського р-ну Київської обл. виявлятимуться у разі зміни цін житла в розмірі, більшому за \$1,87 кв.м за місяць ($1,33 + 0,54$)

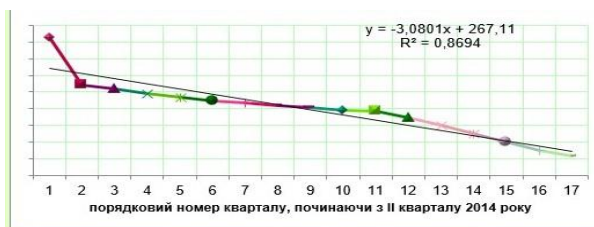
Застосування трендових рівнянь, побудованих на результатах вейвлет-перетворення жодним чином не погіршує помилки теоретичних значень, особливо у разі застосування коригувальних поправок, обчислених за вейвлет-коефіцієнтами.

Зокрема, ціна житла у березні 2018 р. (це 47-й місяць і 16-й квартал з початку відліку аналізованого періоду) становила \$213 за кв.м. Підстановака $t=47$ в якості аргумента залежності, встановленої на рис. 2а, дає результат у \$219,23 за 1 кв.м, при цьому похибка моделі становить – 2,93%. Якщо ж взяти аргументом моделі з рис. 2б $t=16$ і отриманий результат додатково скоригувати на \$1,87, то одержимо інтервальну оцінку вартості квадратного метра в межах від \$216,02 до \$219,76, причому похибка перебуватиме в межах від – 1,42% до – 3,17%. Отриманий інтервал можна відобразити у вигляді меж нечіткого числа, модою якого буде результат трендового рівняння без коригувальних поправок.

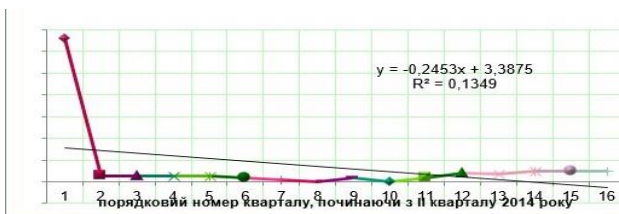
Запропонований підхід до прогнозування вартості житла із використанням модифікованих вейвлет-перетворень часових рядів, таким чином, можна використовувати для складання оптимістичних, нейтральних та песимістичних сценаріїв реалізації інвестиційних проєктів будівництва житла.



а) Фактичні дані про ціну житла (€ за кв.м) у місячному розрізі



б) Коефіцієнти апроксимації часового ряду при $N=3$, тобто усереднені за квартали значення вартості житла



в) Коефіцієнти деталізації, отримані завдяки модифікованому вейвлету Хаара для деталізації мінливості ціни житла в останньому місяці кварталу

Рис. 2. Результат трендового аналізу часового ряду та його вейвлет-перетворень для ринку житла Згурівського р-ну Київської обл.

(Розраховано авторами за даними

http://www.svdevelopment.com/ua/web/house_costs/)

Висновки і перспективи подальших досліджень. Вейвлет-перетворення в частині коефіцієнтів апроксимації дає змогу виокремити головну тенденцію зміни досліджуваного показника. Натомість власне вейвлети, які виявляють деталізуючі коефіцієнти, забезпечують встановлення найважливіших чинників варіації фактичних даних навколо встановленого трендового напрямку. Для економічних досліджень варто модифікувати «традиційні» прийоми вейвлет-розкладання сигналу, оскільки внаслідок цього без жодних істотних втрат корисної для

дослідження інформації значно полегшується економічна інтерпретація отриманих результатів, а отже й зростає ефективність процесу прийняття управлінських рішень. Для економічних досліджень найдоцільнішим з усіх відомих способів вейвлет-перетворень є N-масштабування, де коефіцієнт масштабу N має відповідати частотам спостережень (годинам у робочій зміні, дням упродовж тижня чи декади, тижням у місяці, місяцям у кварталі тощо). Вейвлет-розкладання вартісних показників ринку житла у Київській області дало змогу виявити випереджувальні сигнали дисбалансів попиту і пропозиції, які виявляються у неочікуваному зростанні цін нерухомості. Пріоритетною перспективою обраного напрямку досліджень є розробка способів удосконалення експертних систем нечіткого логічного висновку з використанням вейвлет-перетворень масивів економічних даних, інформації про зміни матеріальних потоків, трансакційних та інших витрат, що супроводжує інвестиційно-будівельний процес.

Список літератури:

1. Бойко А.С. Прогнозування кризових явищ на товарному ринку за допомогою аналізу вейвлет-ентропії / А.С. Бойко // Формування ринкових відносин в Україні. – 2011. – № 4. – С. 43-45. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2011_4_12.
2. Данилов В. Я. Вейвлет аналіз рядів валютних котирувань / В. Я. Данилов, А. В. Слюсар, О. А. Гусев // Системні технології. – 2016. – Вип. 5. – С. 20–26. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/st_2016_5_5.
3. Долматов В. М. Вейвлетне прогнозування процесів інфляції в Україні / В. М. Долматов, Ю. П. Матусов // Економіка та держава. – 2010. – № 5. – С. 64–66.
4. Кириченко Л.О. Использование вейвлет-характеристик временных рядов в экспертной системе / Л.О. Кириченко, Ю.А. Кобицкая, А.В. Стороженко // Системні технології. – 2016. – Вип. 4. – С. 54–61.
5. Кравець Т.В. Вейвлет-аналіз фондових індексів України та Польщі в періоди кризи та релаксації / Т. Кравець, А. Ситенко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка. – 2012. – Вип. 132. – С. 39–44. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_Ekon_2012_132_12.
6. Кравець Т. В. Ефекти синхронізації динаміки фондових індексів та курсів валют при мультифрактальному аналізі з використанням вейвлет технологій / Т.В. Кравець, О.В. Березнюк // Бізнес Інформ. – 2014. – № 2. – С. 116–121. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2014_2_20.
7. Кравець Т. В. Моделювання доходностей фондових індексів методами вейвлет-аналізу / Т. В. Кравець // Бізнес Інформ. – 2013. – № 7. – С. 104–109.
8. Мицель А.А., Шемякина А.Н. Анализ затрат предприятия с помощью вейвлет-преобразований // Экономический анализ: теория и практика. 2013. №46 (349). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zatrat-predpriyatiya-s-pomoschyu-veyvlet-preobrazovaniy-1> (дата обращения: 28.05.2019).
9. Мірошник О.О. Комп'ютерне моделювання нейронної мережі для розпізнавання вейвлет-образів / О.О. Мірошник // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 154. – С. 57–58.

10. Погореленко Н. П. Аналіз динаміки складових вхідних фінансових потоків банківської системи на основі вейвлет-перетворення їх часових рядів / Н.П. Погореленко // Економічний часопис-XXI. – 2015. – № 7–8(2). – С. 44–48.

11. Погореленко Н.П. Вейвлет-аналіз часових рядів показників банківської діяльності в розкритті стабільності функціонування банківської системи / Н.П. Погореленко // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 1. – С. 417–428.

12. Щербакова Г.Ю. Мультистартовый субградиентный метод обучения нейронных сетей в пространстве вейвлет-преобразования / Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов // Наукові праці ДНТУ. Сер.: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2009. – Вип. 10. – С. 202–206.

13. Юр Т.В. Обзор применений вейвлет-преобразования в задачах интеллектуального анализа данных / Т.В. Юр // Збірник наук. праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2015. – № 4(45). – С. 85–88.

References

1. Bojko, A.S. (2011). Prognozuvannya krizovih yavish na tovarnomu rinku za dopomogoyu analizu vejjvlet-entropiyi. *Formuvannya rinkovih vidnosin v Ukraini*, 4, 43–45. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2011_4_12. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn, 42, 151.

2. Danilov, V.Ya., Slyusar, A.V. & Gusyev O.A. (2016). Vejjvlet analiz ryadiv valyutnih kotiruvan. *Sistemni tehnologiyi*, 5, 20–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/st_2016_5_5.

3. Dolmatov, V.M. & Matusov, Yu. P. (2010). Vejjvletne prognozuvannya procesiv inflyatsiyi v Ukraini. *Ekonomika ta derzhava*, 5, 64–66.

4. Kirichenko, L.O., Kobickaya, A. V. & Storozhenko, Yu. A. (2012) Ispolzovanie vejjvlet-harakteristik vremennykh ryadov ekspertnoj sisteme. *Sistemni tehnologiyi*, 4, 54–61.

5. Kravec, T.V. & Sityenko, A. (2012). Vejjvlet-analiz fondovih indeksiv Ukraini ta Polshi v periodi krizi ta relaksatsiyi. *Visnik Kiyivskogo nacionalnogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. Ekonomika*, 132, 39–44. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_Ekon_2012_132_12

6. Kravec, T. V. & Bereznyuk, O.V. (2014) Efekti sinhronizatsiyi dinamiki fondovih indeksiv ta kursiv valyut pri multifraktalnomu analizi z vikoristannyam vejjvlet tehnologij. *Biznes Inform*, 2, 116–121. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2014_2_20.

7. Kravec, T.V. (2013). Modelyuvannya dohodnostej fondovih indeksiv metodami vejjvletanalizu / V. Kravec // *Biznes Inform*. 7. 104–109.

8. Micel, A.A. & Shemyakina, A.N. (2013). Analiz zatrat predpriyatiya s pomoshyu vejjvletpreobrazovaniy. *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika*, 46 (349). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zatrat-predpriyatiya-s-pomoschyu-vejjvletpreobrazovaniy-1> (data obrasheniya: 28.05.2019).

9. Miroshnik, O.O. (2014). Kompyuterne modelyuvannya nejronnoyi merezhi dlya rozpiznavannya vejjvlet-obraziv. *Visnik Harkivskogo nacionalnogo tehnicnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka*, 154, 57–58.

10. Pogorelenko, N.P. (2015). Analiz dinamiki skladovih vhidnih finansovih potokiv bankivskoyi sistemi na osnovi vejjvlet-peretvorenniya yih chasovih ryadiv. *Ekonomichnij chasopis-HHI*, 7–8(2), 44–48.

11. Pogorelenko, N.P. (2016). *Vejvlet-analiz chasovih ryadiv pokaznikov bankivskoyi diyalnosti v rozkritti stabilnosti funkcionuvannya bankivskoyi sistemi. Aktualni problemi ekonomiki*, 1, 417–428. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2016_1_49.

12. Sherbakova, G.Yu. & Krylov, V. N. (2009). *Multistartovyy subgradientnyy metod obucheniya nejronnyh setej v prostranstve vejvlet-preobrazovaniya. Naukovi praci Doneckogo nacionalnogo tehnicnogo universitetu. Ser: Informatika, kibernetika ta obchislyvalna tehnika*, 10, 202–206.

13. Yur, T.V. (2015). *Obzor primenenij vejvlet-preobrazovaniya v zadachah intellektualnogo analiza dannyh. Zbirnik naukovih prac Harkivskogo nacionalnogo universitetu Povitryanih Sil.*, 4(45), 85–88.

Л.В. Сорокина, А.Ф. Гойко

Исследование ценообразующих характеристик недвижимости с помощью вейвлет-преобразования временных рядов

В статье предложен способ модификации дискретного вейвлет-преобразования Хаара, применение которого позволяет получить результаты, пригодные для содержательной экономической интерпретации. С помощью видоизмененного вейвлет-анализа определены упреждающие индикаторы дестабилизации спроса и предложения на рынке жилья в сельской местности. Доказано целесообразность применения регрессионного анализа к результатам вейвлет-преобразований временных рядов экономических показателей.

Ключевые слова: временной ряд, дискретное вейвлет-преобразование Хаара, коэффициент масштабирования, коэффициент аппроксимации, детализирующий коэффициент, фильтр, тренд, стоимость жилья, активизация экономических процессов.

L. Sorokina, A. Goyko

Investigation of principal characteristics of the real estate by the wavelet transformation of time ranks

An approach to housing cost forecasting using modified time series wavelet transforms is proposed, which can be used to compile optimistic, neutral and pessimistic scenarios for the implementation of housing investment projects.

The article proposes a method of modifying a discrete Haar wavelet transform, the use of which allows to obtain results that are suitable for meaningful economic interpretation. In order to provide an economic interpretation of the detailing coefficients of the time series, a modification for the wavelet coefficients is proposed, which will consist of dividing the sets of detailing wavelet coefficients by the indicators inverted by the square of the normalizing factors. Modification of the wavelet made it possible to formulate an economic interpretation of the transformation: for detailing the quarterly average it is necessary to know how much the values of the first and second counts (offsets by 0 and 1 from the beginning) deviate from their average, which shows the activation of the economic process at the beginning of the reference three. The upward trend will be curtailed in the positive results of the wavelet transformation, while speculative economic growth at the end of the quarter will correspond to the negative results.

The proposed modification of Haar wavelet transform was applied to time series of cost of homes in the Kiev region for the period from 2014 to 2018. unexpected rise in real estate prices.

It is revealed that the cost of housing in the Zgurov district of Kiev region. characterized by a steady downward trend in price. This is indicated by the positive values of all wavelet transformations for each of the following quarters. The modified wavelet analysis identifies warning indicators of destabilization of supply and demand in the rural housing market. The expediency of applying regression analysis to the results of wavelet transformations of time series of economic indicators is proved.

Keywords: *time series, discrete Haar wavelet transform, scaling factor, approximation coefficient, detail factor, filter, trend, cost of housing, activation of economic processes.*

Посилання на статтю:

АРА: Sorokina, L.V. & Goyko, A.F. (2020). Doslidzhennia tsinoutvoriuiuchykh kharakterystyk nerukhomosti za dopomohoiu veivlet-peretvoren chasovykh riadiv. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 44, 3–16.

ДСТУ: Сорокіна Л.В. Дослідження ціноутворюючих характеристик нерухомості за допомогою вейвлет-перетворень часових рядів [Текст] / Л.В. Сорокіна, А.Ф. Гойко// Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2020. – № 44. – С. 3–16.