

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-75-63>

УДК 332.8:711.4:330.43

МЕТОДИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ДЕТЕРМІНАНТ НА РОЗВИТОК ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

METHODOLOGICAL TOOLKIT FOR ASSESSING THE IMPACT OF SOCIO-ECONOMIC DETERMINANTS ON HOUSING DEVELOPMENT

Кіндій Андрій Степановичаспірант, кафедра соціоекономіки та управління персоналом,
Київський національний економічний університет
імені Вадима ГетьманаORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2907-8534>**Kindii Andrii**

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

Досліджено проблему фрагментарності існуючих методологічних підходів до аналізу соціально-економічних детермінант житлового будівництва та відсутності інтегрованого інструментарію для комплексного оцінювання їх впливу. Розроблено комплексний методичний інструментарій, що інтегрує матричний аналіз та теорію графів для системного дослідження п'яти вимірів детермінант: економічного, соціального, екологічного, технологічного та просторового. Створено систему семи взаємопов'язаних матричних моделей (базова матриця взаємодій, динамічних коефіцієнтів, кризових модифікацій, зворотних зв'язків, адаптивних ваг, цільових індикаторів, темпоральних лагів) для моделювання складних взаємодій між детермінантами у різних часових горизонтах та контекстуальних умовах. Практичне застосування на прикладі українського житлового сектору дозволило розробити конкретні рекомендації для житлової політики з урахуванням оптимальних шляхів впливу, темпоральних лагів між детермінантами та адаптації до екстремальних умов функціонування.

Ключові слова: житлове будівництво, соціально-економічні детермінанти, матричний аналіз, теорія графів, системний підхід.

The article investigates the critical problem of methodological fragmentation in existing approaches to analyzing socio-economic determinants of housing development and the absence of integrated toolkit for comprehensive assessment of their multidimensional impact. Traditional research methods based on single-sector analysis or simple correlation dependencies prove insufficient for understanding the complex nature of modern housing systems and intricate interrelationships between different types of determinants. A comprehensive methodological toolkit integrating matrix analysis and graph theory for systematic investigation of five determinant dimensions has been developed: economic, social, environmental, technological, and spatial. The conceptual foundation is based on systems theory and complex adaptive systems concepts, treating the determinant system as a weighted directed graph $G = (V, E, W)$ where vertices represent determinant dimensions and edges reflect causal relationships. The developed system comprises seven interconnected matrix models: Basic Interaction Matrix (BIM) serving as the fundamental element, Dynamic Coefficients Matrix (DCM) modeling temporal evolution, Crisis Modifications Matrix (CMM) reflecting extreme conditions adaptation, Feedback Links Matrix (FLM) revealing interaction asymmetries, Adaptive Weights Matrix (AWM) ensuring contextual relevance, Target Indicators Matrix (TIM) providing operational planning framework, and Temporal Lags Matrix (TLM) optimizing intervention timing parameters. The toolkit architecture includes four interconnected methodological blocks: diagnostic-analytical for structure identification, dynamic-adaptive for system evolution modeling, prognostic-scenario for development forecasting, and validation-optimization for results verification. The study developed specific housing policy recommendations considering optimal impact pathways, temporal lags between determinants, and adaptive strategies for extreme operational conditions, creating a scientific foundation for evidence-based housing development management.

Keywords: housing development, socio-economic determinants, matrix analysis, graph theory, systems approach.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку житлового будівництва характеризується зростаючою складністю соціально-економічних процесів, що актуалізує потребу у принципово нових підходах до аналізу та оцінювання детермінант розвитку житлового сектору. Фрагментарність існуючих методологічних підходів становить одну з ключових проблем сучасних досліджень житлового будівництва. Переважна більшість наявних методик зосереджується на окремих аспектах житлової проблематики – економічних, соціальних, екологічних або технологічних – ігноруючи системну природу їх взаємодій. У контексті України окреслені проблеми набувають особливої актуальності через необхідність розробки ефективних стратегій відновлення житлового сектору та адаптації до умов воєнного стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний стан досліджень соціально-економічних детермінант житлового будівництва характеризується багатоманітністю підходів та методологічного інструментарію.

Pilehvar, A. A., & Ghasemi, A. (2024) [5] застосували Python та різні регресійні моделі для аналізу 8000 об'єктів нерухомості в Тегерані, досягнувши точності 85% у визначенні факторів впливу на ціни житла. Дослідження виявило сильні кореляції між вартістю житла та площею (80%), розташуванням району (75%), наявністю ліфта (44%), паркінгу (43%) та року будівництва (26%), а також обернену кореляцію з показником district number (-41%).

Економетричні методи оцінювання детермінант житлового сектору представлені в дослідженні Melesky, A., & Paksi, D. (2024) [4], які проаналізували панель 15 європейських країн за період 2000-2020 років. Дослідження виявило, що детермінанти попиту (ВВП, безробіття, заробітна плата, населення) значно впливають на ціни житла. Просторове моделювання детермінант житлової інфраструктури розвивається в контексті охорони здоров'я [1]. Системні дослідницькі рамки для багатовимірного аналізу детермінант житлового будівництва представлені в роботі González, F. et al. (2024) [2], які дослідили вплив житлової регенерації на показники комфорту та задоволеності житлом у соціальних житлових комплексах.

Ptak-Wojciechowska, A. et al. (2024) [6] розробили оціночну рамку для розумного та сталого житла для літніх людей, використовуючи метод аналітичної ієрархії (АНР). Результати показали, що найбільш значущим критерієм

є дружність житлової функції до віку, тоді як найважливішим під-критерієм – доступність житлових модифікацій для літніх людей.

Байєсівські методологічні підходи до аналізу детермінант житлового будівництва представлені в дослідженні Wu, H. et al. (2024) [8], показали, що розробники впливають на трансакційні витрати через три найбільш впливові фактори: рівень збірності, досвід збірного житла та метод оплати контракту.

Інноваційні форми житлової власності досліджувалися Gusoff, G. M., et al. (2025) [3], які продемонстрували, як різні форми житлової власності можуть впливати на соціально-економічні характеристики районів.

Дослідження Shrestha, B. et al. (2025) [7] ілюструє застосування лонгітудинальних методологічних підходів для вивчення факторів, що впливають на задоволеність житлом серед переселенців після катастроф у Непалі. Результати аналізу засвідчили, що гнучкість житлових умов та залучення мешканців до прийняття рішень мають більше значення для тривалого задоволення переселенців, ніж структурні характеристики житла.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На основі критичного аналізу існуючих досліджень виділено ключові невирішені проблеми у сфері оцінювання соціально-економічних детермінант житлового будівництва.

Відсутність інтегрованого підходу до моделювання детермінант. Жодне з проаналізованих досліджень не поєднує переваги матричного аналізу та теорії графів для комплексного дослідження взаємодій. Pilehvar, A. A., & Ghasemi, A. (2024) [5] застосовують виключно математичні методи без візуалізації структури зв'язків, тоді як інші дослідження обмежуються концептуальними рамками без операціональних інструментів.

Неврахування темпоральної асиметрії детермінант у прогностичних моделях. Попри досягнення Melesky, A., & Paksi, D. (2024) [4] у довгостроковому аналізі панельних даних, відсутні інструменти для кількісного визначення диференційованих швидкостей впливу економічних, соціальних, екологічних, технологічних та просторових детермінант.

Відсутність адаптивних механізмів для аналізу детермінант у кризових контекстах. Незважаючи на актуальність досліджень переселенців, представлених у роботі Shrestha, B. et al. (2025) [7], відсутні інструменти для систематичного аналізу трансформації структури взаємодій детермінант у кризових умовах.

Обмеженість аналізу нелінійних взаємодій та синергетичних ефектів між детермінантами. Хоча Wu, H. et al. (2024) [8] демонструють складні взаємодії через байєсівські мережі, а González, F. et al. (2024) [2] показують багатовимірні ефекти житлової регенерації, відсутні методи для кількісного вимірювання синергетичних та антагоністичних ефектів.

Відсутність стандартизованих валідаційних процедур для верифікації методологічних інструментів. Наявні дослідження, включаючи роботи Colston, J. M. et al. (2024) [1] та Ptak-Wojciechowska, A. et al. (2024) [6], використовують різноманітні критерії валідації, що ускладнює порівняння та узагальнення результатів. Окреслені невирішені проблеми вимагають розробки принципово нового методологічного інструментарію, що інтегрує матричний аналіз та теорію графів для системного дослідження детермінант житлового будівництва з урахуванням їх динамічної природи, темпоральних лагів та контекстуальної адаптивності.

Метою статті є розробка комплексного методичного інструментарію оцінювання впливу соціально-економічних детермінант на розвиток житлового будівництва на основі інтеграції матричного аналізу та теорії графів.

Виклад основного матеріалу. Житлове будівництво як соціально-економічний феномен характеризується складною мережею причинно-наслідкових зв'язків між різноманітними детермінантами, що функціонують на різних рівнях та в різних часових горизонтах [7].

Розроблений методичний інструментарій базується на синтезі матричного аналізу та теорії графів для комплексного дослідження детермінант житлового будівництва. Система детермінант концептуалізується як орієнтований зважений граф:

$$G = (V, E, W)$$

де $V = \{E, S, N, T, P\}$ представляє множину вершин п'яти вимірів детермінант (економічний, соціальний, екологічний, технологічний, просторовий);

$E \subseteq V \times V$ – множина орієнтованих ребер, що відображають причинно-наслідкові зв'язки;

$W : E \rightarrow R$ – функцію ваг, що приписує кожному ребру числове значення сили взаємодії.

Розроблений інструментарій включає чотири взаємопов'язані методологічні блоки, кожен з яких інтегрує матричні та графові методи аналізу. Структурна організація інструментарію представлена у таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, кожен блок інструментарію поєднує специфічні матричні методи з відповідними графовими алгоритмами, що забезпечує комплексність аналізу. Діагностично-аналітичний блок призначений для ідентифікації та аналізу структури зв'язків між детермінантами. Динамічно-адаптивний блок забезпечує моделювання еволюції системи та її адаптації до змінних умов. Прогностично-сценарний блок фокусується на прогнозуванні розвитку та плануванні втручань. Валідаційно-оптимізаційний блок здійснює верифікацію результатів та оптимізацію управлінських рішень.

Розроблений інструментарій включає систему семи взаємопов'язаних матричних моделей, кожна з яких фокусується на специфічних аспектах взаємодії детермінант житлового будівництва.

Базова матриця взаємодій детермінант (МВД) є фундаментальним елементом розробленої системи та представляє квадратну матрицю розмірністю 5×5:

$$MVD = [p_{ij}]_{5 \times 5}$$

Таблиця 1

Структура комплексного методичного інструментарію

Блок	Назва	Матричні методи	Графові методи	Основна функція
1	Діагностично-аналітичний	МВД, МЗЗ	Аналіз центральності, кластеризація	Ідентифікація та аналіз структури зв'язків
2	Динамічно-адаптивний	МДК, МКМ, МАВД	Аналіз шляхів, стійкість мережі	Моделювання еволюції та адаптації
3	Прогностично-сценарний	МЦІ, МТЛ	Каскадні ефекти, критичні шляхи	Прогнозування та планування
4	Валідаційно-оптимізаційний	Інтегральна модель	Оптимізація топології мережі	Верифікація та оптимізація рішень

Джерело: розроблено автором

де ρ_{ij} – коефіцієнт взаємодії між детермінантами виміру i та виміру j .

Діагональні елементи ρ_{ij} відображають внутрішньосекторальні взаємодії в межах одного виміру, характеризуючи самоорганізацію та внутрішню синергію економічних, соціальних, екологічних, технологічних або просторових процесів. Недіагональні елементи ρ_{ij} характеризують міжсекторальні взаємодії між різними вимірами детермінант, відображаючи силу та напрям причинно-наслідкових зв'язків між різнотипними факторами житлового розвитку [8].

Коефіцієнт взаємодії між детермінантами розраховується за формулою кореляції Пірсона з урахуванням композитних індексів окремих вимірів:

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^T (CI_{i,t} - \overline{CI_i})(CI_{j,t} - \overline{CI_j})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (CI_{i,t} - \overline{CI_i})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (CI_{j,t} - \overline{CI_j})^2}}$$

де ρ_{ij} – коефіцієнт взаємодії між i -тою та j -тою детермінантами;

$CI_{i,t}$ – композитний індекс i -го виміру детермінант у період t ;

$\overline{CI_i}$ – середнє значення композитного індексу i -го виміру за досліджуваний період;
 n – кількість періодів спостереження.

Матриця динамічних коефіцієнтів (МДК) розширює базову модель шляхом включення часової компоненти, що дозволяє моделювати еволюцію взаємодій детермінант у часі під впливом технологічного прогресу, соціальної еволюції та інституційних змін. Ця модель дозволяє врахувати нерівномірність темпів змін різних типів взаємодій та прогнозувати майбутні конфігурації системи детермінант. Формула динамічних коефіцієнтів $\delta_{ij}(t)$ описує експоненціальну еволюцію взаємодій між детермінантами житлового будівництва в часі:

$$\delta_{ij}(t) = \rho_{ij} \times e^{ta_{ij}}$$

де $\delta_{ij}(t)$ – динамічний коефіцієнт взаємодії у момент часу t ;

ρ_{ij} – базовий коефіцієнт взаємодії між детермінантами i та j ;

t – час у роках;

a_{ij} – коефіцієнт швидкості зміни взаємодії, що визначається емпірично:

$$a_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \ln \left(\frac{\rho_{ijk}}{\rho_{ijk-1}} \right)$$

де n – кількість періодів спостереження;

ρ_{ijk} – коефіцієнт взаємодії у період k .

Формула для розрахунку коефіцієнта швидкості зміни a_{ij} визначає коефіцієнт

швидкості зміни емпірично на основі аналізу історичних даних.

Матриця кризових модифікацій (МКМ) відображає трансформацію взаємодій детермінант в умовах екстремальних зовнішніх впливів, таких як воєнні конфлікти, природні катастрофи або економічні кризи. Модель базується на концепції адаптивної резильєнс житлових систем та теорії кризового управління. Основна формула кризової модифікації:

$$МКМ = МВД \odot K_{crisis}$$

де МКМ – матриця кризових модифікацій;

МВД – базова матриця взаємодій детермінант;

$\odot$ – операція поелементного множення (Hadamard product);

K_{crisis} – матриця кризових коефіцієнтів.

Формула кризових коефіцієнтів:

$$K_{ij}^{crisis} = 1 + \beta_{ij} \times I_{crisis}$$

де K_{ij}^{crisis} – кризовий коефіцієнт для взаємодії між детермінантами i та j ;

β_{ij} – чутливість взаємодії (i,j) до кризових умов;

I_{crisis} – індекс інтенсивності кризи, що приймає значення в інтервалі $[0, 1]$.

Ключові особливості МКМ: адаптивна природа (модель автоматично налаштовується на різні типи та інтенсивність криз); диференційований вплив (різні взаємодії мають різну чутливість до кризових умов через коефіцієнт β_{ij}); нормалізований індекс (I_{crisis} нормалізується в діапазоні $[0,1]$ для стандартизації впливу); зважена агрегація (різні кризові показники мають різні ваги w_k залежно від їх важливості); збереження базової структури (операція поелементного множення зберігає топологію базової матриці МВД).

Матриця зворотних зв'язків (МЗЗ) представляє четверту компоненту розробленої системи матричних моделей та призначена для виявлення асиметрії взаємодій між детермінантами житлового будівництва. Теоретичною основою моделі є положення теорії системної динаміки Форрестера та концепція циклічної каузальності, що визнає можливість існування двонаправлених причинно-наслідкових зв'язків між компонентами складних соціально-економічних систем [2].

Коефіцієнт асиметрії взаємодії розраховується за формулою:

$$\gamma_{ij} = \frac{\rho_{ij}}{\rho_{ji}}$$

де γ_{ij} – коефіцієнт асиметрії між детермінантами i та j ;

p_{ij} – коефіцієнт прямого впливу детермінанти i на детермінанту j ;

p_{ji} – коефіцієнт зворотного впливу детермінанти j на детермінанту i .

Ця формула дозволяє кількісно оцінити співвідношення сили прямого та зворотного впливів між будь-якою парою детермінант у системі.

Інтерпретація коефіцієнтів асиметрії базується на порівнянні їх значень з одиницею як точкою симетричного балансу. Значення $\gamma_{ij} > 1$ свідчить про домінування прямого впливу $i \rightarrow j$, що означає переважання ролі детермінанти i як рушійної сили для детермінанти j . Коефіцієнт $\gamma_{ij} = 1$ вказує на симетричний взаємовплив, характеризуючи рівносильну двонаправлену взаємодію між детермінантами. Значення $\gamma_{ij} < 1$ означає домінування зворотного впливу $j \rightarrow i$, що свідчить про більш сильний вплив детермінанти j на детермінанту i порівняно з оберненим напрямом. Від'ємні значення $\gamma_{ij} < 0$ індикують конфліктну взаємодію, коли детермінанти мають антагоністичні зв'язки.

Для оцінки статистичної значущості виявленої асиметрії застосовується модифікований Z-критерій:

$$Z_{ij} = \frac{|p_{ij} - p_{ji}|}{\sqrt{\frac{1 - p_{ij}^2}{n-3} + \frac{1 - p_{ji}^2}{n-3}}}$$

де n – обсяг вибірки. При $Z_{ij} > Z_{\{\alpha/2\}}$ асиметрія вважається статистично значущою на рівні α , що дозволяє відрізнити реальну асиметрію від випадкових коливань у даних.

Емпіричні результати застосування моделі можуть мати наступний вигляд:

Коефіцієнт асиметрії $\gamma_{\{\text{economic}, \text{social}\}} = 1,5$ свідчить про те, що економічні фактори сильніше впливають на соціальні детермінанти, ніж навпаки, що обґрунтовує пріоритетність економічних заходів у житловій політиці [4].

Значення $\gamma_{\{\text{technology}, \text{environment}\}} = 0,7$ вказує на домінування екологічних вимог у формуванні технологічних рішень, що підкреслює важливість екологічного регулювання для стимулювання інновацій.

Від'ємне значення $\gamma_{\{\text{spatial}, \text{economic}\}} = -0,3$ індикує конфлікт між просторовими обмеженнями та економічними інтересами, що вимагає розробки компромісних рішень у сфері територіального планування [7].

Матриця адаптивних ваг детермінант (МABД) представляє п'яту компоненту розробленої системи матричних моделей та забез-

печує налаштування методичного інструментарію під специфічні контекстуальні умови функціонування житлового сектору різних регіонів, країн або інституційних середовищ.

Адаптивні ваги детермінант розраховуються за формулою:

$$W_i^{\text{adapted}} = W_i^{\text{base}} \times (1 + k_{\text{context}} \times \text{''context, } i)$$

де W_i^{adapted} – адаптована вага i -го виміру детермінант для конкретного контексту;

W_i^{base} – базова (універсальна) вага i -го виміру, що визначається на основі загально-теоретичних засад та міжнародного досвіду;

k_{context} – коефіцієнт контекстуальної чутливості, що регулює ступінь адаптації до локальних умов;

''context, i – контекстуальне відхилення важливості i -го виміру від базового рівня.

Контекстуальне відхилення обчислюється як

$$\text{''context, } i = \frac{P_{\text{context, } i} - P_{\text{base, } i}}{P_{\text{base, } i}}$$

де $P_{\text{context, } i}$ – пріоритет i -го виміру у конкретному контексті, визначений експертним методом або на основі аналізу національних стратегій розвитку;

$P_{\text{base, } i}$ – базовий пріоритет i -го виміру, встановлений на основі міжнародних стандартів та кращих практик.

Коефіцієнт контекстуальної чутливості k_{context} дозволяє регулювати міру адаптації інструментарію до локальних умов. При $k_{\text{context}} = 0$ модель функціонує з базовими вагами без урахування контекстуальних особливостей, що відповідає універсальному підходу. При $k_{\text{context}} = 1$ контекстуальні відхилення повністю враховуються, що забезпечує максимальну адаптацію до локальних умов. Проміжні значення $0 < k_{\text{context}} < 1$ дозволяють знайти оптимальний баланс між універсальністю та контекстуальною специфічністю.

Нормування адаптивних ваг здійснюється за умовою:

$$\sum_{i=1}^5 W_i^{\text{adapted}} = 1$$

що забезпечує збереження загальної структури моделі та можливість порівняння результатів між різними контекстами. Ця умова вимагає пропорційного перерозподілу ваг при їх адаптації, що відображає відносні зміни пріоритетів між детермінантами.

Емпіричне застосування моделі може проілюструвати наступний приклад: для країн з перехідною економікою коефіцієнт адаптації може збільшувати вагу економічних детермінант ($W_{\text{economic}}^{\text{adapted}} = 0,35$ замість базових

0,25) через критичну важливість фінансової доступності житла, одночасно зменшуючи вагу технологічних детермінант ($W_{\text{technology}}^{\text{adapted}} = 0,15$ замість базових 0,20) через обмеженість технологічних можливостей.

Матриця цільових індикаторів (МЦІ) представляє шосту компоненту розробленої системи матричних моделей та є операційним інструментом для планування та моніторингу прогресу у розвитку житлового сектору. Теоретичною основою моделі є принципи цільового управління за результатами (Management by Objectives) та концепція результат-орієнтованого планування, що забезпечують трансформацію стратегічних цілей житлової політики в конкретні вимірювані показники та індикатори ефективності.

Цільовий розрив для кожного індикатора визначається за формулою:

$$G_{ap_i} = \frac{T_{\text{target}_i} - \text{Current}_i}{T_{\text{target}_i}} \times 100\%$$

де G_{ap_i} – цільовий розрив i -го індикатора, що показує відносну відстань між поточним та цільовим станом у відсотковому вираженні;

T_{target_i} – цільове значення i -го індикатора, встановлене на основі стратегічних документів розвитку або міжнародних стандартів;

Current_i – поточне значення i -го індикатора, отримане в результаті емпіричних вимірювань або статистичного спостереження.

Пріоритет індикатора розраховується за багатокритеріальною формулою:

$$\text{Priority}_i = G_{ap_i} \times W_i \times \text{Urgency}_i \times \text{Feasibility}_i$$

G_{ap_i} , де Priority_i – інтегральний показник пріоритетності i -го індикатора для цільових втручань;

W_i – вага i -го індикатора в загальній системі цілей житлового розвитку;

Urgency_i – коефіцієнт терміновості досягнення цільового значення, що враховує часові обмеження та критичність проблеми;

Feasibility_i – коефіцієнт здійсненності досягнення цільового значення, що відображає наявність ресурсів, інституційну спроможність та технічну можливість реалізації заходів.

Коефіцієнт терміновості Urgency_i визначається на основі аналізу соціально-економічних наслідків затримки у досягненні цільових показників та може приймати значення від 0,5 (низька терміновість) до 2,0 (критична терміновість). Коефіцієнт здійсненності Feasibility_i оцінюється експертним методом з урахуванням фінансових, технічних, інсти-

туційних та політичних обмежень і варіює від 0,1 (практично нездійснено) до 1,0 (повністю здійснено). Траєкторія досягнення цільових значень моделюється експоненціальною функцією:

$$\text{Current}_i(t) = \text{Current}_i(0) + \frac{G_{ap_i} \times \text{Current}_i(0)}{100} \times (1 - e^{-\lambda_i \times t})$$

де $\text{Current}_i(t)$ – прогнозне значення i -го індикатора в момент часу t ,

$\text{Current}_i(0)$ – початкове значення індикатора;

λ_i – коефіцієнт швидкості досягнення цілі, що визначається на основі історичних темпів зміни індикатора та інтенсивності планованих втручань;

t – час у роках від початку реалізації програми.

Емпіричне застосування моделі може проілюструвати наступний приклад: для індикатора доступності житла з поточним значенням 0,62, цільовим значенням 0,85 та вагою 0,25, цільовий розрив становитиме $G_{ap} = (0,85 - 0,62) / 0,85 \times 100\% = 27\%$. При коефіцієнтах терміновості 1,5 та здійсненності 0,8 пріоритет індикатора дорівнюватиме $\text{Priority} = 27\% \times 0,25 \times 1,5 \times 0,8 = 8,1$, що дозволяє ранжувати його відносно інших індикаторів для прийняття рішень про розподіл ресурсів [5].

Матриця темпоральних лагів (МТЛ) представляє сьому компоненту розробленої системи матричних моделей та відображає часові затримки між впливом детермінант одного виміру та відгуком детермінант іншого виміру в системі житлового будівництва. Теоретичною основою моделі є теорія розподілених лагів Койка-Алмона та концепція адаптивних очікувань, що визнають неодноразовість впливів у складних соціально-економічних системах та необхідність урахування інерційності адаптаційних процесів.

Ефект з урахуванням темпорального лагу визначається за формулою:

$$\text{Effect}_{ij}(t) = \sum_{k=0}^{\text{lag}_{ij}} \alpha_{ij,k} \times \text{Impact}_i(t-k)$$

де $\text{Effect}_{ij}(t)$ – сукупний ефект впливу детермінант виміру i на детермінанти виміру j у момент часу t з урахуванням розподіленого характеру цього впливу;

lag_{ij} – максимальний темпоральний лаг взаємодії між вимірами i та j , що визначає тривалість періоду, протягом якого зберігається значущий вплив;

$\alpha_{ij,k}$ – коефіцієнт розподіленого лагу для k -го періоду затримки, що показує частку

загального ефекту, яка проявляється з затримкою k періодів;

$Impact_i(t-k)$ – інтенсивність впливу детермінант виміру i у момент часу $(t-k)$.

Коефіцієнти розподіленого лагу задовольняють умові нормування:

$$\sum_{k=0}^{lag_{ij}} \alpha_{ij,k} = 1$$

що забезпечує збереження загальної інтенсивності впливу при його розподілі в часі та дозволяє інтерпретувати коефіцієнти як ймовірнісні ваги різних періодів затримки.

Для моделювання коефіцієнтів розподіленого лагу використовується модель геометричного розподілу:

$$\alpha_{ij,k} = \frac{(1 - \Theta_{ij}) \times \Theta_{ij}^k}{1 - \Theta_{ij}^{lag_{ij}+1}}$$

де $\Theta_{ij} \in (0,1)$ – параметр швидкості згасання ефекту, що характеризує інтенсивність зменшення впливу з плином часу. При $\Theta_{ij} \rightarrow 0$ вплив концентрується в початкових періодах (швидка реакція), при $\Theta_{ij} \rightarrow 1$ вплив розподіляється більш рівномірно в часі (повільна реакція).

Геометричний розподіл лагів має декілька важливих переваг для моделювання соціально-економічних процесів. Він забезпечує монотонне зменшення впливу з часом, що відповідає емпіричним спостереженням про згасання ефектів у більшості економічних систем. Модель має лише один параметр Θ_{ij} , що спрощує її калібрування та інтерпретацію. Геометричний розподіл дозволяє моделювати як швидкі (при малих Θ), так і повільні (при великих Θ) адаптаційні процеси в залежності від природи взаємодії між детермінантами.

Емпіричне визначення параметрів моделі здійснюється методом максимальної правдоподібності на основі аналізу часових рядів композитних індексів детермінант. Максимальний лаг lag_{ij} визначається за допомогою інформаційних критеріїв Акаїке або Шварца, що дозволяють знайти оптимальний баланс між точністю моделі та її складністю.

Емпіричні результати застосування моделі можуть показати, наприклад, що економічні заходи (зміна процентних ставок, субсидії) мають короткий лаг впливу на просторові детермінанти (1-2 місяці), тоді як екологічні регуляції проявляють свій вплив на технологічні детермінанти з більшою затримкою (6-12 місяців) через необхідність розробки та впровадження нових технологій.

Інтегральна модель оцінювання представляє завершальний етап розробленого методичного інструментарію, що об'єднує всі матричні моделі в єдину систему для комплексного оцінювання соціально-економічних детермінант житлового будівництва. Модель базується на принципах системної інтеграції та холістичного підходу до аналізу складних соціально-економічних систем, забезпечуючи синергетичний ефект від одночасного врахування всіх ключових аспектів функціонування житлового сектору [1].

Інтегральний індекс соціально-економічних детермінант розраховується за комплексною формулою:

$$ISED_{integral}(t) = \sum_{i=0}^5 \sum_{j=1}^5 \left[\delta_{ij}(t) \times W_i^{adapted} \times W_j^{adapted} \times k_{ij}^{crisis} \times Cl_i(t - lag_{ij}) \times Cl_i(t) \times \gamma_{ij} \right]$$

де $ISED_{integral}(t)$ – інтегральний індекс соціально-економічних детермінант у момент часу t , що представляє узагальнену оцінку стану та динаміки всієї системи детермінант житлового будівництва.

Ця формула забезпечує комплексне врахування п'яти ключових аспектів функціонування системи детермінант.

Динамічна еволюція взаємодій $\delta_{ij}(t)$ відображає зміну сили зв'язків між детермінантами в часі під впливом технологічного прогресу, соціальних трансформацій та інституційних змін. Компонент базується на матриці динамічних коефіцієнтів (МДК) та дозволяє врахувати нерівномірність темпів еволюції різних типів взаємодій.

Контекстуальна адаптація ваг ($W_i^{adapted}$, $W_j^{adapted}$) забезпечує налаштування моделі під специфічні умови конкретних регіонів, країн або інституційних середовищ. Цей компонент базується на матриці адаптивних ваг детермінант (МВД) та дозволяє враховувати відмінності в пріоритетах розвитку, культурних традиціях, рівні економічного розвитку та інституційній спроможності.

Кризові модифікації (k_{ij}^{crisis}) відображають трансформацію взаємодій між детермінантами в умовах екстремальних зовнішніх впливів. Компонент базується на матриці кризових модифікацій (МКМ) та дозволяє оцінити стійкість системи детермінант до різних типів потрясінь та її адаптивну спроможність.

Темпоральні лаги (lag_{ij}) враховують часові затримки між впливом детермінант одного виміру та відгуком детермінант іншого виміру. Компонент базується на матриці темпоральних лагів (МТЛ) та забезпечує точне моде-

лювання швидкості поширення впливів у системі, що критично важливо для прогнозування та планування.

Поточні значення композитних індексів ($CI_i(t)$, $CI_j(t)$) відображають актуальний стан детермінант та їх взаємодій. Використання індексів з різними часовими зсувами ($CI_i(t - lag_{ij})$ для впливаючої детермінанти та $CI_j(t)$ для детермінанти, що зазнає впливу) дозволяє врахувати реальну послідовність причинно-наслідкових процесів.

Математична структура інтегральної моделі забезпечує декілька важливих властивостей. Подвійна сума за індексами i та j охоплює всі можливі парні взаємодії між п'ятьма вимірами детермінант, що гарантує повноту аналізу системних зв'язків. Мультиплікативна форма зв'язку між компонентами відображає їх синергетичну взаємодію, коли ефект кожного фактора підсилюється або послаблюється іншими факторами.

Практичне застосування інтегральної моделі дозволяє вирішувати декілька ключових завдань стратегічного управління житловим розвитком. Модель забезпечує комплексну діагностику поточного стану системи детермінант з урахуванням всіх значущих факторів впливу. Результати розрахунків створюють основу для обґрунтованого прогнозування динаміки житлового сектору на різних часових горизонтах. Модель дозволяє оцінювати ефективність альтернативних стратегій житлової політики через моделювання їх впливу на інтегральний індекс. Результати аналізу можуть використовуватися для оптимізації розподілу ресурсів між різними напрямками житлового розвитку.

Інтеграція матричного аналізу з теорією графів дозволила одночасно моделювати кількісні взаємодії та візуалізувати структурні зв'язки між детермінантами, що забезпечило більшу глибину аналізу порівняно з односекторальними підходами. Графові алгоритми центральності та кластеризації виявили ієрархічні структури впливу та природні групування детермінант, що неможливо досягти виключно матричними методами.

Висновки. Проведене дослідження дозволило розробити комплексний методичний інструментарій оцінювання впливу соціально-економічних детермінант на розвиток жит-

лового будівництва, що інтегрує переваги матричного аналізу та теорії графів.

Розроблена система семивзаємопов'язаних матричних моделей забезпечує комплексне врахування всіх ключових аспектів функціонування системи детермінант житлового будівництва. Базова матриця взаємодій детермінант (МВД) створює фундаментальну основу для аналізу статичних зв'язків. Матриця динамічних коефіцієнтів (МДК) моделює еволюцію системи в часі з урахуванням технологічного прогресу та соціальних змін. Матриця кризових модифікацій (МКМ) забезпечує адаптивність до екстремальних умов функціонування. Матриця зворотних зв'язків (МЗЗ) виявляє асиметрію взаємодій та домінуючі напрями впливу. Матриця адаптивних ваг детермінант (МABД) забезпечує контекстуальну релевантність результатів. Матриця цільових індикаторів (МЦІ) створює операціональну основу для стратегічного планування. Матриця темпоральних лагів (МТЛ) оптимізує часові параметри управлінських втручань.

Інтегральна модель $ISED_{integral}(t)$ синтезує результати всіх семи компонентів через комплексну формулу, що враховує динамічну еволюцію взаємодій, контекстуальну адаптацію ваг, кризові модифікації, темпоральні лаги та асиметрію зворотних зв'язків. Ця модель забезпечує науково обґрунтовану основу для стратегічного планування житлового розвитку з урахуванням складності та багатовимірності сучасних житлових систем.

Перспективи подальших досліджень включають розширення інструментарію на інші сектори економіки з адаптацією матричних моделей до специфіки різних галузей, інтеграцію з технологіями штучного інтелекту для автоматизації аналізу та підвищення точності прогнозування, розробку веб-платформи для широкого практичного застосування інструментарію урядовими та науковими установами.

Розроблений методичний інструментарій створює методологічну основу для переходу від фрагментарного до системного аналізу детермінант житлового будівництва та відкриває нові можливості для науково обґрунтованого управління житловим розвитком в умовах зростаючої складності та невизначеності сучасного соціально-економічного середовища.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Colston, J. M., Kosek, M. N., Chernyavskiy, P., Nong, M. K., & Annapareddy, N. (2024). Spatial variation in housing construction material in low- and middle-income countries: A Bayesian spatial prediction model of a key infectious diseases risk factor and social determinant of health. *PLOS Global Public Health*, 4(12), e0003338. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003338> (дата звернення: 30.06.2025).
2. González, F., Baeza, F., Valdebenito, R., Sánchez, B. N., & Diez-Roux, A. (2024). Improvements in habitability and housing satisfaction after dwelling regeneration in social housing complexes. The RUCAS study. *Social Science and Medicine*, 355, 117090. URL: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2024.117090> (дата звернення: 30.06.2025).
3. Gusoff, G. M., Ramiller, A., Acolin, A., et al. (2025). Pursuing healthy homeownership: an evaluation of the neighborhood health trajectories of shared equity homeowners. *BMC Public Health*, 25, 11. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20982-z> (дата звернення: 30.06.2025).
4. Melecky, A., & Paksi, D. (2024). Drivers of European housing prices in the new millennium: Demand, financial, and supply determinants. *Empirica*, 51, 731–753. URL: <https://doi.org/10.1007/s10663-024-09611-5> (дата звернення: 30.06.2025).
5. Pilehvar, A. A., & Ghasemi, A. (2024). Advanced modeling of housing locations in the city of Tehran using machine learning and data mining techniques. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 804. URL: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03244-6> (дата звернення: 30.06.2025).
6. Ptak-Wojciechowska, A., Gawlak, A., Kort, H., & Kasraian, D. (2024). An assessment framework for smart and sustainable housing for older adults using analytic hierarchy process (AHP). *Frontiers in Built Environment*, 10, 1476249. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1476249> (дата звернення: 30.06.2025).
7. Shrestha, B., Uprety, S., & Keitsch, M. M. (2025). A Longitudinal Study of Post-Disaster Resettlement in Nepal: Insights into Building Back Better. *Architecture*, 5(1), 17. URL: <https://doi.org/10.3390/architecture5010017> (дата звернення: 30.06.2025).
8. Wu, H., Qian, Q. K., Straub, A., Visscher, H., & Zhuang, T. (2024). How Do Developers Influence the Transaction Costs of China's Prefabricated Housing Development Process? An Investigation through the Bayesian Belief Network Approach. *Systems*, 12(5), 147. URL: <https://doi.org/10.3390/systems12050147> (дата звернення: 30.06.2025).

REFERENCES:

1. Colston, J. M., Kosek, M. N., Chernyavskiy, P., Nong, M. K., & Annapareddy, N. (2024). Spatial variation in housing construction material in low- and middle-income countries: A Bayesian spatial prediction model of a key infectious diseases risk factor and social determinant of health. *PLOS Global Public Health*, 4(12), e0003338. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003338> (accessed June 30, 2025).
2. González, F., Baeza, F., Valdebenito, R., Sánchez, B. N., & Diez-Roux, A. (2024). Improvements in habitability and housing satisfaction after dwelling regeneration in social housing complexes. The RUCAS study. *Social Science and Medicine*, 355, 117090. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2024.117090> (accessed June 30, 2025).
3. Gusoff, G. M., Ramiller, A., Acolin, A., et al. (2025). Pursuing healthy homeownership: an evaluation of the neighborhood health trajectories of shared equity homeowners. *BMC Public Health*, 25, 11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20982-z> (accessed June 30, 2025).
4. Melecky, A., & Paksi, D. (2024). Drivers of European housing prices in the new millennium: Demand, financial, and supply determinants. *Empirica*, 51, 731–753. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10663-024-09611-5> (accessed June 30, 2025).
5. Pilehvar, A. A., & Ghasemi, A. (2024). Advanced modeling of housing locations in the city of Tehran using machine learning and data mining techniques. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 804. Available at: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03244-6> (accessed June 30, 2025).
6. Ptak-Wojciechowska, A., Gawlak, A., Kort, H., & Kasraian, D. (2024). An assessment framework for smart and sustainable housing for older adults using analytic hierarchy process (AHP). *Frontiers in Built Environment*, 10, 1476249. Available at: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1476249> (accessed June 30, 2025).
7. Shrestha, B., Uprety, S., & Keitsch, M. M. (2025). A Longitudinal Study of Post-Disaster Resettlement in Nepal: Insights into Building Back Better. *Architecture*, 5(1), 17. Available at: <https://doi.org/10.3390/architecture5010017> (accessed June 30, 2025).
8. Wu, H., Qian, Q. K., Straub, A., Visscher, H., & Zhuang, T. (2024). How Do Developers Influence the Transaction Costs of China's Prefabricated Housing Development Process? An Investigation through the Bayesian Belief Network Approach. *Systems*, 12(5), 147. Available at: <https://doi.org/10.3390/systems12050147> (accessed June 30, 2025).