

**М. І. Бондар**

доктор економічних наук, професор, декан факультету обліку та податкового менеджменту  
ДВНЗ "Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана", Київ, Україна,  
oefbondar@gmail.com  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1904-1211>

**А. А. Кулик**

аспірат кафедри обліку та консалтингу факультету обліку та податкового менеджменту  
ДВНЗ "Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана", Київ, Україна,  
fininv1805@gmail.com  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7791-3551>

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ МАСОВОЇ ОЦІНКИ НЕРУХОМОСТІ**

**Анотація.** У статті досліджено підходи, методи й моделі масової оцінки нерухомості з урахуванням особливостей залежно від її типу, впливу ціноутворюючих чинників попиту і пропозиції тощо. Наведено класифікацію моделей масової оцінки, до складу якої включено параметричні множинні регресійні моделі, просторові та непараметричні моделі, а також більш сучасні методи, зокрема штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, теорію грубих множин тощо. Досліджено гедоністичні моделі як найпоширеніший різновид параметричної множинної регресії. Показано математичну інтерпретацію цих моделей, проаналізовано ключові ціноутворюючі чинники, використовувані як пояснювальні змінні при їх побудові, різні види та розглянуто їхні переваги й недоліки. На доповнення до традиційної гедоністичної моделі розглянуто просторові моделі, а в ролі альтернативи – непараметричні моделі. Крім того, розкрито сучасні методи, зокрема штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, теорії грубих множин та експертні моделі, використання котрих у контексті масової оцінки є предметом дискусій серед науковців. За підсумками аналізу сформульовано критерії, що впливають на вибір конкретних методів і моделей масової оцінки.

**Ключові слова:** масова оцінка, підходи до оцінки, методи і моделі масової оцінки.

**Форм. 1. Табл. 4. Літ. 33.**

**Mykola Bondar**

Dr. Sc. (Economics), Professor, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine,  
oefbondar@gmail.com  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1904-1211>

**Andriy Kulyk**

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine, fininv1805@gmail.com  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7791-3551>

**METHODS AND MODELS OF REAL ESTATE MASS APPRAISAL**

**Abstract.** This article examines the approaches, methods and models of mass appraisal. The article also considers features of application of valuation approaches and methods when conducting mass appraisal taking into account the type of real estate, the impact of price-forming factors of demand and supply and etc. Based on the analysis of scientific works of foreign and domestic scientists, the classification of mass appraisal models is

given, which includes parametric multiple regression models, spatial and nonparametric models, as well as more modern methods, in particular, artificial neural networks, genetic algorithms, rough set theory and etc. Hedonistic models as the most common type of parametric multiple regression have been studied. In particular, the mathematical interpretation of this model is given, the key pricing factors that are used as explanatory variables in the construction of the model are analyzed, as well as different types of hedonistic models, their advantages and disadvantages are considered. As complementation of the traditional hedonistic model, spatial models are investigated, while nonparametric models are studied as an alternative. In particular, foreign scientists' works are analyzed, which consider the comparative analysis of the effectiveness of use of the above-mentioned models. The article also considers modern methods, in particular artificial neural networks, genetic algorithms, rough set theory and expert models, the use of which in the context of mass appraisal is the subject of discussion among scientists. Based on the results of the analysis, criteria are formulated which impact the choice of application of specific mass appraisal methods and models. Further research will be directed towards a more detailed study of the hedonistic model in order to develop the latter as a basic model of mass appraisal on the example of the residential real estate market of one of the districts in Kyiv.

**Keywords:** mass appraisal, valuation approaches, mass appraisal methods and models.

**JEL classification:** R30.

Масова оцінка застосовується для розв'язання великомасштабних завдань з оцінки, зокрема необхідності систематизованого оцінювання великої кількості об'єктів нерухомості на конкретну дату з дотриманням відповідних обмежень у витратах і часі. Масова оцінка базується на загальних підходах, які характерні й для індивідуальної експертної оцінки. Однак з огляду на характер завдань для масової оцінки порівняно з індивідуальною необхідно послуговуватися більш уніфікованим підходом до формування оціночної моделі. Побудова останньої передбачає виконання послідовності таких процедур: збір та аналіз вхідних даних, власне побудова моделі, тобто специфікація й стратифікація з використанням уніфікованих методів оцінки і технік статистичного аналізу, дослідження співвідношення між фактичними цінами та розрахунковими значеннями моделі, її подальше вдосконалення та підсумковий захист і в підсумку застосування для цілей оподаткування (або інших цілей). При цьому модель повинна враховувати ключові ціноутворюючі фактори, котрі відображають рушійні сили попиту і пропозиції в межах певного регіону, а також включати стандартизовані інструменти оцінювання, які забезпечать одноманітність та достовірність результатів. Хоча підсумковим результатом є індивідуальна вартість об'єктів нерухомості, висновки стосуються скоріше груп активів, аніж окремих об'єктів, а важливими завданнями професійного оцінювача є розроблення, обґрунтування коригувань та роз'яснення результатів оціночної моделі.

Дослідженню методів та моделей масової оцінки присвячено численні праці зарубіжних та вітчизняних вчених. Зокрема, зарубіжні науковці Р. Глоудеманс і Р. Альмі [1] досліджують ключові теоретико-методологічні

засади масової оцінки та розглядають особливості побудови регресійних моделей для цілей масової оцінки, Т. Кауко М. Д'Амато [2] здійснили вичерпний аналіз традиційних і новітніх методів та моделей, у т. ч. вперше використали теорію грубих множин для побудови моделі масової оцінки нерухомості, В. Мак-Класкі та Р. Борст приділили багато увагу вивченню особливостей побудови та застосування географічно зважених регресійних моделей [3] і штучних нейронних мереж [4]. Вітчизняні експерти та науковці, такі як Ю. Кірічек, Є. Ландо, Є. Гайденко [5], розглянули питання оцінки нерухомості для цілей оподаткування, а О. Драпіковський та І. Іванова [6] здійснили огляд моделей масової оцінки й особливостей їхнього використання.

Метою статті є здійснення огляду підходів, методів і моделей масової оцінки в контексті аналізу можливості та прийнятності їхнього застосування в реаліях вітчизняного ринку нерухомості.

Розглядаючи поняття масової оцінки в періодичних виданнях та фундаментальних дослідженнях науковців і ринкових експертів, бачимо дослідження численних підходів, методів та моделей, які постають теоретико-методологічною основою, а також інструментом для розрахунку вартості нерухомості для різних цілей (у т. ч. з метою оподаткування). При цьому розроблення та практичне втілення ефективного інструменту, котрий відтворюватиме вплив ринкових чинників попиту і пропозиції, тривалий час становить інтерес для фахівців багатьох країн. Додатковим стимулом до розроблення нових ринково орієнтованих моделей масової оцінки є запровадження вартісно орієнтованих систем оподаткування нерухомості у ряді країн світу. Наприклад, у США та Швеції такі системи масової оцінки функціонують ще з останньої чверті ХХ ст., у Словенії та Литві – впроваджені порівняно нещодавно, на початку ХХІ ст., тоді як у Польщі й Білорусі – перебувають на етапі формування.

Теоретичною і методологічною основою дослідження були наукові дослідження зарубіжних та вітчизняних науковців, стандарти, матеріали національних та міжнародних організацій. При окресленні й узагальненні наявних підходів, методів оцінки було використано Міжнародні стандарти оцінки (International Valuation Standards, IVS) та стандарти міжнародної спілки професіоналів у сфері масової оцінки (International Association of Assessing Officers Standards, IAAO Standards). Основу для вивчення та узагальнення моделей масової оцінки становили наукові праці та посібники зарубіжних вчених. Для з'ясування особливостей застосування конкретних моделей масової оцінки було проаналізовано публікації у періодичних виданнях зарубіжних науковців, зокрема приклади практичного втілення оціночних моделей. Попри доволі обмежене висвітлення питань розроблення моделей масової оцінки в Україні, додатково розглянуто доробок вітчизняних науковців та практиків. У підсумку, задля аналізу різноманітності та поширеності методів та моделей масової оцінки, було опрацьовано понад 30 зарубіжних праць.

У процесі аналізу використано теоретичні методи і прийоми наукового пізнання, серед яких методи аналізу та синтезу, порівняння й узагальнення, історичний метод тощо. Методи аналізу та синтезу застосовано при дослідженні гедоністичних моделей, зокрема під час аналізу різних ціноутворюючих факторів попиту і пропозиції та особливостей їхнього впливу на вартість об'єктів нерухомості в межах моделей з різним характером відображення статистичної залежності (адитивні, мультиплікативні та ін.). Історичний метод використано під час хронологічного аналізу методів і моделей масової оцінки – від традиційних, таких як параметрична множина регресійна модель, до більш сучасних (штучні нейронні мережі, теорія грубих множин тощо). Метод порівняння застосовано при зіставленні ефективності використання сучасних моделей масової оцінки (наприклад штучні нейронні мережі та генетичні алгоритми) з традиційною регресійною моделлю на прикладі окремих кейс-випадків практичної імплементації.

Центральне місце у здійсненні масової оцінки посідає побудова оціночної моделі, яка відображає взаємозв'язок між вартісними показниками певного виду нерухомості (наприклад, ціна купівлі-продажу або оренди нерухомості) й сукупністю економічних, соціальних, екологічних та інших факторів попиту і пропозиції.

Перед тим як перейти до дослідження підходів, методів та моделей масової оцінки, стисло окреслимо фактори попиту і пропозиції, використовувани як незалежні пояснювальні чинники ринку нерухомості в заданий час у межах конкретної території. Перелік ціноутворюючих факторів істотною мірою визначається видом нерухомості, який є об'єктом оцінки. Зокрема до ключових факторів попиту житлової нерухомості належать площа, місце розташування, стан та якість побудови об'єкта, тоді як до факторів пропозиції – витрати будівництва, процентні ставки, економічні умови тощо. Для комерційної нерухомості до ключових факторів попиту варто віднести економічні очікування суб'єктів на ринку, розміщення та стан об'єкта, тимчасом як до факторів пропозиції – норму рентабельності на капітал, рівень операційних витрат та ін. (докладніше див. табл. 1).

Як і у випадку з індивідуальною експертною оцінкою, при здійсненні масової оцінки нерухомості використовуються три загальновідомі підходи, зокрема ринковий (порівняльний), дохідний та витратний [7]. При цьому існують різні способи їх застосування щодо певних типів нерухомості (табл. 2), у т. ч. методології, які поєднують елементи декількох підходів.

*Дохідний підхід* передбачає визначення: 1) очікуваних майбутніх економічних вигід у формі доходів та/або грошових потоків від використання об'єкта нерухомості й 2) ставки дисконтування для розрахунку теперішньої вартості вказаних потоків станом на дату оцінки. Економічні вигоди від експлуатації об'єкта нерухомості визначаються переважно на базі орендних ставок зіставних об'єктів, скоригованих на вакантність за вирахуванням операційних витрат, податкових та страхових платежів. Такому підходу надається

Таблиця 1. Перелік ключових ціноутворюючих факторів на ринку нерухомості

Характер факторів	Фактори попиту	Фактори пропозиції
Економічні	Житлова нерухомість: <ul style="list-style-type: none"> <li>• уподобання населення щодо площі, розміщення, стану об'єктів тощо;</li> <li>• рівень доходів громадян;</li> <li>• загальний тренд у цінах купівлі-продажу та оренди нерухомості;</li> <li>• співвідношення власних і орендованих об'єктів;</li> <li>• рівень процентних ставок та доступність іпотеки</li> </ul>	Житлова нерухомість: <ul style="list-style-type: none"> <li>• наявність відповідного типу майна на ринку;</li> <li>• наявність вільних земельних ділянок під забудову;</li> <li>• витрати будівництва;</li> <li>• будівельна активність та економічні умови;</li> <li>• співвідношення цін на первинному й вторинному ринках нерухомості</li> </ul>
	Комерційна нерухомість: <ul style="list-style-type: none"> <li>• техніко-економічні характеристики (площа, розміщення, стан та якість побудови тощо);</li> <li>• економічні очікування суб'єктів на ринку;</li> <li>• відстань від конкуруючих комерційних об'єктів;</li> <li>• співвідношення комерційних і житлових об'єктів нерухомості</li> </ul>	Комерційна нерухомість: <ul style="list-style-type: none"> <li>• будівельна активність та економічні умови;</li> <li>• операційні витрати (в т. ч. рівень заробітних плат, транспортних та комунальних витрат);</li> <li>• норма дохідності на капітал</li> </ul>
Соціальні	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Регіональні демографічні тренди, зокрема природний приріст населення, міграція, середній вік жителів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рівень зайнятості та безробіття в регіоні;</li> <li>• кількість і якість трудових ресурсів</li> </ul>
Державні	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Державне регулювання цільового використання земельних ділянок та якості будівництва;</li> <li>• податковий контроль операцій на ринку нерухомості;</li> <li>• доступність і якість публічних послуг на ринку нерухомості</li> </ul>	
Навколишнього середовища	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Топографія та форма земельної ділянки, наявність відповідних поліпшень і комунікацій;</li> <li>• близькість і доступ до об'єктів інфраструктури (парки, торгово-розважальні центри, освітні заклади, громадський транспорт)</li> </ul>	

Складено за: Gloudemans R. J., Almy R. R. Fundamentals of Mass Appraisal. Kansas City : IAAO, 2011.

Таблиця 2. Ранжування корисності використання підходів до оцінювання окремих типів нерухомості

Тип нерухомості	Витратний підхід	Ринковий підхід	Дохідний підхід
Приватний будинок	2	1	3
Багатоквартирний будинок	3	1, 2	1, 2
Комерційні об'єкти (ТРЦ, офіси, тощо)	3	2	1
Промислові об'єкти (складські приміщення тощо)	1, 2	3	1, 2
Земельні ділянки (несільськогосподарського призначення)	–	1	2
Сільськогосподарські об'єкти (ферми, ранчо, тощо)	–	2	1
Об'єкти спеціального призначення (нерухомість освітніх і наукових закладів, санаторіїв тощо)	1	2, 3	2, 3

Складено за: IAAO Standard on Mass Appraisal of Real Property. Kansas City, Missouri, USA, 2012. URL: <https://www.iaao.org/media/standards/StandardOnMassAppraisal.pdf>.

перевага в разі оцінювання нерухомості, яка приносить дохід (офісні й торговельно-розважальні центри, готельно-ресторанні комплекси тощо).

*Витратний підхід* передбачає визначення вартості відновлення/заміщення земельних поліпшень (будівель, споруд, тощо), величини їхнього знецінення (фізичного, функціонального, економічного), а також вартості умовно-вакантної земельної ділянки. Він застосовується переважно при оцінюванні промислових, урядових та рекреаційних об'єктів, щодо яких немає даних зіставних угод та/або інформації про доходи і витрати від експлуатації. Складність підходу пов'язана з його непрямим характером, зокрема необхідністю визначення вартості умовно-вакантних земельних ділянок, у т. ч. на урбанізованих територіях, а також істотною вартістю придбання й утримання баз даних щодо численних факторів, котрі впливають на витрати відновлення/заміщення об'єктів.

Для визначення вартості нерухомості в межах ринкового підходу використовується інформація щодо останніх цін на відкритому ринку. Метою його застосування є встановлення взаємозв'язку між відмінностями у характеристиках об'єктів (цільове використання, площа, розташування, стан і якість будівництва тощо) і ціною їхнього продажу та/або пропозиції. У подальшому такий зв'язок використовується для обчислення вартості об'єктів оцінки. Застосування порівняльного підходу є найбільш релевантним за наявності достатньої кількості зіставних угод та/або пропозицій купівлі-продажу нерухомості, яка підлягає оцінці. Зазвичай такі умови наявні у випадку приватного житла, а також невеликих офісних та торговельних приміщень. Статистичні техніки, такі як, наприклад, модель множинної регресії, можуть бути застосовані для кількісного визначення впливу кожної з характеристик на вартість об'єкта з достатньою надійністю. Водночас, якщо маємо справу з невеликою кількістю зіставних угод, розпорошених на значній території, або об'єкти нерухомості істотно відрізняються між собою, використання ринкового підходу є доволі складним, а його результати – обмеженими.

Розглядаючи різноманіття методів і моделей масової оцінки звернемося до зарубіжного досвіду, зокрема класифікації [2]. Науковці здійснили вичерпний аналіз сучасних методів та моделей масової оцінки, у т. ч. їх використання в різних країнах світу. Відповідно до аналізу понад 100 наукових праць у сфері масової оцінки, опублікованих із початку 1970-х років і до сьогодні (табл. 3), учені визначили поширеність різних моделей масової оцінки нерухомості: від класичних, які базуються на регресійному аналізі, до сучасних (штучні нейронні мережі та генетичні алгоритми тощо).

Подібну до зазначеної вище класифікацію методів і моделей масової оцінки пропонують також зарубіжні науковці Д. Ван і В. Цзінь Лі [9] та вітчизняні експерти О. Драпиковський та І. Іванова [6].

**Параметрична множинна регресійна модель.** Найбільшого поширення в масовій оцінці набули моделі, котрі базуються на регресійному аналізі. Серед них вирізняють гедоністичні моделі, у чиїх межах вартість об'єктів нерухомості розглядається як результат впливу сукупності факторних оз-

Таблиця 3. Поширеність використання різних моделей масової оцінки нерухомості

№ з/п	Група моделей масової оцінки		Поширеність використання, %
	Англійська назва	Українська назва	
1	Parametric Multiple Regression Analysis (MRA)	Параметрична множинна регресійна модель	35
2	Models including Spatial Control	Просторові моделі	10
3	Flexible (non-parametric) Regression Models	Гнучкі (непараметричні) регресійні моделі	15
4	Artificial Neural Networks (ANN) and Genetic Algorithm	Штучні нейронні мережі (ШТМ) та генетичні алгоритми	15
5	Qualitative Intelligent Methods and Rough Set Theory (RST)	Методи якісного інтелекту та теорія грубих множин	10
6	Methods based on judgmental data	Методи на основі даних суджень	15

Складено за: Kauko T., D'Amato M. Mass Appraisal Methods: An international perspective for property valuers. RICS Research, 2008.

нак, котрі можна укрупнено поділити на такі категорії: внутрішні (площа, стан, якість будівництва тощо) та зовнішні (місце розташування) характеристики. У загальному вигляді гедоністична модель може бути сформульована таким чином:

$$MV = \Pi GQ \times [(\Pi BQ \times \Sigma BA) + (\Pi LQ \times \Sigma LA) + \Sigma OA],$$

де  $MV$  – ринкова вартість об'єкта нерухомості;  $GQ$  – загальні коефіцієнти, які відображають вплив зовнішніх характеристик на вартість об'єкта в цілому (наприклад мультиплікатор місця розташування);  $BQ$  – коефіцієнти вартості будівлі (наприклад вартість будівництва в розрахунку на одиницю площі);  $BA$  – внутрішні характеристики будівлі (наприклад площа);  $LQ$  – коефіцієнти вартості земельної ділянки (наприклад вартість земельної ділянки в розрахунку на одиницю площі);  $LA$  – внутрішні характеристики земельної ділянки (наприклад, площа);  $OA$  – вартість інших компонентів об'єкта (наприклад, басейн, гостьовий будинок, гаражі, навіси тощо).

Залежно від характеру відображення статистичної залежності між вартістю об'єкта нерухомості (залежною змінною) та відповідними характеристиками (незалежні змінні) гедоністичні моделі поділяють на адитивні, мультиплікативні й гібридні. У межах адитивних моделей використовується лінійна регресія, а вартість об'єкта нерухомості визначається як сума певної константи й добутків відповідної факторної ознаки та вартісного коефіцієнта (2). Для побудови мультиплікативної моделі застосовується нелінійна регресія, а вартість об'єкта розраховується як добуток факторних ознак у степені вартісних коефіцієнтів або навпаки (3). Гібридні моделі становлять комбінацію адитивних та мультиплікативних моделей і, таким чином, дають можливість відобразити сукупність лінійних і нелінійних взаємозв'язків вартістю об'єкта та його атрибутами (4).

Аддитивні моделі загалом є найпоширенішими серед інших гедоністичних моделей, що пояснюється простотою їх специфікації та калібрування. У цьому випадку під специфікацією маємо на увазі розроблення й визначення математичної форми моделі на базі теорії оцінки та ринкового аналізу, що включає вибір релевантних факторних ознак і форми взаємозалежності. Калібрування є процесом встановлення значень коефіцієнтів внесків у вартість кожної з факторних ознак у моделі. На прикладі моделей, наведених у табл. 4, на етапі специфікації знаходять перелік ключових ціноутворюючих факторів (площа, якість будівництва, вік будівлі, бінарні змінні щодо місця розташування) та характер взаємозалежності (лінійний, нелінійний). Тимчасом на етапі калібрування розраховується саме значення коефіцієнтів при ціноутворюючих факторах. Ключовим недоліком аддитивних моделей є лінійний характер, який не завжди відповідає реаліям ринку, а тому не повною мірою відображає внесок окремих факторних ознак у вартість об'єкта. Отже, у моделі неможливо інтегрувати відсоткові коригування до базової оцінки об'єкту.

Таблиця 4. Класифікація гедоністичних моделей за характером відображення статистичної залежності

№ з/п	Назва моделі	Математична інтерпретація моделі
1	Аддитивна модель	$SP = 50640 + 86.28 \times SQFT + 16.490 \times QUAL - 982 \times AGE - 16.610 \times WOODSIDE + 34.230 \times RIDGEVIEW$ , де $SP$ – ціна продажу; $SQFT$ – житлова площа; $QUAL$ – якість будівництва (низька = 0.70, прийнята = 0.87, середня = 1.00, добра = 1.25, дуже добра = 1.50, розкішна = 1.85); $AGE$ – вік будівлі; $WOODSIDE$ – бінарна змінна розташування поблизу лісу; $RIDGEVIEW$ – бінарна змінна розташування поблизу схилу пагорба
2	Мультиплікативна модель	$SP = 137.14 \times SQFT^{0.973} \times QUAL^{1.090} \times PERGOOD^{0.877} \times 0.891^{WOODSIDE} \times 1.219^{RIDGEVIEW}$ , де $PERGOOD = \frac{(100 - AGE)}{100}$
3	Гібридна модель	$SP = [39.882 + (94.62 \times SQFT) + (15,594 \times QUAL) - (896 \times AGE)] \times 0.938^{WOODSIDE} \times 1.129^{RIDGEVIEW}$

Складено за: Gloude-mans R. J., Almy R. R. Fundamentals of Mass Appraisal. Kansas City : IAAO, 2011.

На противагу адитивним моделям використання мультиплікативних моделей дає можливість, по-перше, ефективно відобразити нелінійну залежність, по-друге, розробити відсоткові коригування до базової оцінки об'єкта, по-третє, знизити залежність моделі від аномальних значень (outliers). Водночас у мультиплікативній моделі неможливо інтегрувати окремі адитивні взаємозалежності для характеристик земельних ділянок та будівель.

Використання гібридних моделей забезпечує більш повноцінну специфікацію моделі, оскільки дає змогу врахувати як лінійні, так і нелінійні взаємозалежності. Проте калібрування таких моделей є доволі складним і трудомістким процесом.



**Просторові моделі.** У контексті масової оцінки методи і моделі просторового аналізу застосовуються для встановлення більш повноцінного взаємозв'язку між місцезнаходженням об'єкта та його внутрішніми характеристиками, зокрема факторних ознак, котрі базуються на відстані чи віддаленості об'єкта оцінки до певних ознак (торговельно-розважальних центрів, парків, закладів освіти тощо) [10]. Просторовий аналіз здійснюється за рахунок використання сучасних геоінформаційних технологій, які дають можливість вимірювати місце розташування в координатному просторі, обробляти нелінійні й динамічні відстані та в підсумку застосовувати результати просторового аналізу при калібруванні моделі, що істотно спрощує визначення внеску місця розташування у вартість нерухомого майна. До групи просторових (геоінформаційних) моделей належать:

- географічно зважена регресійна модель (geographically weighted regression (GWR) model);
- географічно зважений метод головних компонент (geographically weighted principal component analysis (PCA));
- модель просторової похибки (spatial error model (SEM)) та модель просторового лага (Spatial lag model (SLM));
- метод поверхні відгуку вартості (Location Value Response Surface (LVRS)).

Модель GWR є одним із методів просторового регресійного аналізу, який дає можливість вбудувати просторову структуру в лінійну регресійну модель, тобто зважити кожен пункт в сукупності даних відповідно до місця розташування. Цей метод оцінює локальну модель досліджуваної змінної або процесу через використання рівняння регресії до кожного просторового об'єкта в сукупності даних. Таким чином, створюються окремі рівняння шляхом включення залежних і незалежних факторів, котрі потрапляють у межі певного об'єкта. Т. Локвуд та П. Россіні здійснили порівняльний аналіз різних моделей масової оцінки й встановили, що моделі GWR дають високий рівень точності [11]. Т. Дімопулос і А. Мулас провели порівняльний аналіз моделей множинної (MRA) та географічно зваженої (GWR) регресії на прикладі муніципалітету Салоніки (Греція). Відповідно до аналізу GWR модель показала ряд переваг, у т. ч. значно вищий коефіцієнт детермінації [12].

Географічно зважений метод головних компонент застосував Чао Ву [13] при побудові моделі масової оцінки ринку житлової нерухомості м. Шеньчжень (Китай). Науковець наголосив, що ця модель вирішує проблему просторової неоднорідності ринку нерухомості та дає можливість урахувати як просторову близькість, так і подібність внутрішніх характеристик під час визначення субринків об'єктів нерухомості.

Моделі SEM та SLM належать до групи просторових авторегресійних моделей. Перша базується на просторовій залежності похибки, тоді як друга включає просторовий лаг як залежну змінну. Відповідно, ціни нерухомості залежать від цін її навколишніх аналогів. Зокрема А. Беяєва дослідила просторові методи і моделі масової оцінки, зробивши висновок, що просто-

рові авторегресійні моделі дають можливість отримати значно кращі результати порівняно з традиційною множинною регресією [14].

Аналіз поверхні відгуку вартості полягає у виявленні центрів впливу на вартість, у т. ч. громадських, маршрутів пасажирського транспорту, зон відпочинку, та дає змогу визначити їхній позитивний чи негативний вплив на вартість [6]. У межах методу аналізу поверхні відгуку вартості виокремлюють такі складові [15]:

- розрахунок коефіцієнтів коригування на місце розташування на базі просторового розподілу цін продажу об'єктів нерухомості;
- встановлення дисперсії між фактичними цінами й розрахунковими значеннями, отриманими на базі моделі множинної регресії без застосування факторної змінної місця розташування;
- побудова сітки інтерполяції, яка відображає вплив факторів місця розташування в межах певного району на об'єкти нерухомості.

**Гнучкі (непараметричні) регресійні моделі.** Непараметрична регресія вважається альтернативою класичним моделям регресії. На відміну від параметричних методів, котрі припускають наперед визначену сталу форму регресійної залежності, непараметричні регресійні моделі мають на меті з'ясувати форму регресійної залежності безпосередньо з вибірки вхідних даних. Непараметричні регресійні моделі передбачають пошук балансу між підгонкою спостережуваної вибірки даних та “згладжуванням” оцінок функції. Як правило, це здійснюється за допомогою певної форми перехресної перевірки, спрямованої на оцінку функції, що добре підходить для прогнозування нових даних на базі наявної вибірки.

Теоретичні та методологічні аспекти використання “гнучкої” або “непараметричної” регресії для цілей масової оцінки розкриваються у праці В. Веркоїєна [16], зокрема для визначення апроксимації місця розташування (наприклад, локально зважена регресія), здійснення малорозмірних доповнень (приміром, адитивні моделі з параметричними та непараметричними компонентами), проведення адаптивних розрахунків (скажімо, нейронні мережі). Використанню моделей гнучкої регресії для цілей визначення вартості об'єктів нерухомості також присвячені роботи таких авторів, як Р. Міз і Н. Уоллес [17], К. Пейс [18], а також К. Мейсон та Дж. М. Квіглі [19].

**Штучні нейронні мережі.** Одним із найпоширеніших класів структур штучних нейронних мереж (далі – ШНМ), які використовуються в масовій оцінці, є багатошаровий перцептрон (Multi-layer perceptron) [20]. ШНМ складається з мережі штучних нейронів, зокрема з вхідного, вихідного шарів і щонайменше одного шару нелінійних елементів обробки, відомих як прихований шар. Штучний нейрон – основна одиниця нейронної мережі, котра виконує обробку й підсумування введеної інформації, а також передачу та виведення кінцевої інформації.

Алгоритми нейронної мережі зводяться до задачі апроксимації (інтерполяції) функції багатьох змінних за заданим набором прикладів. Для цьо-

го відому сукупність цін продажу об'єктів розподіляють на три вибірки: навчальну, валідаційну, тестову. Перша застосовується власне для навчання мережі, друга – для визначення її оптимальної архітектури та моменту припинення навчання, а остання – для контролю якості прогнозу вже сформованої нейромережі [6].

Наукова спільнота має різні погляди щодо надійності використання ШНМ для цілей масової оцінки. З одного боку, такі автори, як, наприклад, Е. Ворзала, М. Ленк, А Сільва [21], виявили низку проблем, зокрема брак надійності. З другого боку, Н. Нгуен та Е. Кріппс [22] здійснили порівняльний аналіз параметричної множинної регресії та ШНМ на базі вибірки угод приватних житлових будинків. Науковці дійшли висновку, що регресійна модель показує достовірні результати на базі невеликої вибірки однорідних вхідних даних, тоді як використання ШНМ є релевантнішим, коли маємо справу з великими вибірками неоднорідних даних.

**Генетичний алгоритм** є ще одним сучасним напівпараметричним інструментом із парадигми машинного навчання, застосовуваним у масовій оцінці. Генетичний алгоритм – обчислювальна модель, котра використовується для задач оптимізації та моделювання шляхом добору та варіації факторів за рахунок механізмів, які нагадують біологічну еволюцію. Р. Кулі був одним з перших науковців хто проаналізував особливості моделювання впливу локальних факторів на ціни житлової нерухомості за допомогою застосування генетичного алгоритму [23]. В. Мак-Класкі та С. Ананд [19] дослідили застосування гібридних систем у сфері масової оцінки. Зокрема, науковці побудували гібридну систему, де ШНМ та генетичні алгоритми було використано в поєднанні з методом найближчого сусіда (nearest-neighbour algorithm) – одним з евристичних методів, яким послуговуються для класифікації та виявлення шаблонів даних. Д. Ан та ін. [24] застосували генетичні алгоритми як доповнення до рідж-регресії (іншими словами, “гребенева” регресія) з метою покращання оціночних моделей на прикладі ринку нерухомості Південної Кореї.

**Теорію грубих множин** як один з методів, що можуть використовуватися для аналізу невизначених систем, було запропоновано польським ученим З. Павляком у 1980–1990-х роках [25; 26]. Ця теорія базується на положенні, що можливість описати множину об'єктів обмежується нашою спроможністю в розрізненні окремих її елементів. Як правило, розрізняються лише класи об'єктів, а не конкретні об'єкти. Певні елементарні класи таких відношень нерозрізненості можуть бути несумісні, тобто включати об'єкти, котрі мають однаковий опис, однак віднесені до різних категорій. У результаті в загальному випадку неможливо точно описати множину об'єктів у термінах елементарних множин нерозрізнених об'єктів. Для того щоб вирішити зазначену проблему, було введено поняття грубих множин як пари двох множин – нижнього й верхнього наближень, побудованих із елементарних множин об'єктів.

Теорія грубих множин вважається одним із сучасних методів масової оцінки, використовуваних в умовах обмежених або неточних ринкових да-

них, що може мати місце під час оцінювання об'єктів нерухомості на ринках, котрі розвиваються. У контексті масової оцінки цю теорію вперше імплементовано на практиці М. Д'Амато [27] при розробленні моделі оцінки житлової нерухомості м. Барі (Італія) на базі невеликої вибірки угод. У подальшому вказаний метод був також застосований до вже більшої вибірки угод на рику житлової нерухомості м. Барі (Італія) [28] та вибірки з близько 100 угод на ринку м. Амстердама (Нідерланди) [29]. Відносно нещодавно його використали В. Дель Джудіче та ін. [30] під час проведення масової оцінки офісних приміщень у м. Неаполі (Італія).

**Методи на основі даних суджень** об'єднують сукупність технік та моделей, використовуваних в умовах обмежених ринкових даних, котрі інтегрують у собі професійні знання, судження та досвід експертів ринку нерухомості й оцінювачів. Складність застосування таких методів полягає у створенні системи, адаптованої до актуальних ринкових тенденцій. У межах експертної системи оцінювач ураховує досвід і наявні обмежені ринкові дані для розроблення коефіцієнтів коригування цін об'єктів нерухомості. До складу вказаних методів відносять експертні моделі [31] та моделі підтримки прийняття рішень [32; 33].

На підставі викладеного доходимо таких висновків. Нами ідентифіковано такі ключові моделі масової оцінки: гедоністичні, котрі розглядають вартість об'єктів нерухомості як результат впливу сукупності факторних ознак; просторові, застосовувані для відображення більш повноцінного взаємозв'язку між місцезнаходженням об'єкта та його внутрішніми характеристиками, а також сучасніші методи (штучні нейронні мережі, теорія грубих множин), чие використання є особливо релевантним, коли оцінювач має справу з великими вибірками неоднорідних, обмежених або неточних ринкових даних, що можливо на ринках, які розвивається. Незважаючи на те, що традиційні гедоністичні моделі є наразі найпоширенішими у світовій теорії та практиці, аналіз зарубіжних джерел вказує на дедалі більшу популярність нових методів, що пов'язано з розвитком штучного інтелекту та геоінформаційних систем. При цьому множинні регресійні моделі використовуються як базовий метод для здійснення порівняльного аналізу ефективності нових методів і моделей.

Щодо питання можливості та прийнятності застосування розглянутих методів і моделей масової оцінки у вітчизняних реаліях, то варто зауважити, що вибір методології істотною мірою визначається рядом інституційних та методологічних критеріїв. До першої групи передусім варто віднести її відповідність особливостям локального характеру, зокрема відкритість та повноту вхідних ринкових даних щодо цін купівлі-продажу та оренди нерухомості, тоді як до другої – точність окремих оцінок і зовнішню валідацію моделі, концептуальну обґрунтованість застосовуваного методу надійності моделі, внутрішню узгодженість її структури, перелік та характер коригувань цін, здійсненність реалізації методу з позиції співвідношення отриманих результатів і проведених витрат. З огляду на вказані критерії, а також з урахуванням по-

ширеності певних методів і моделей у світовій практиці, подальше дослідження буде спрямовано на застосування параметричної множинної регресії, у т. ч. гедоністичної моделі як базової моделі масової оцінки на прикладі ринку житлової нерухомості одного з районів м. Києва. Такий вибір обумовлюється, по-перше, широкою вживаністю цієї моделі у світовій практиці, а отже, наявністю достатньої кількості практичних кейсів; по-друге простотою специфікації та стратифікації; по-третє, загальною доступністю вхідних даних щодо пропозицій купівлі-продажу й оренди об'єктів нерухомості на базі публічних джерел і аналітичних матеріалів ринкових експертів.

### Список використаних джерел

1. *Gloude-mans R. J., Almy R. R.* Fundamentals of Mass Appraisal. Kansas City : IAAO, 2011.
2. *Kauko T., D'Amato M.* Mass Appraisal Methods: An international perspective for property valuers. RICS Research, 2008.
3. *Borst R. A., McCluskey W. J.* Using geographically weighted regression to detect housing submarkets: modeling large-scale spatial variations in value. *Journal of Property Tax Assessment & Administration*. 2008. Vol. 5, Iss. 1. P. 21–54. URL: <https://researchexchange.iaao.org/jptaa/vol5/iss1/2>.
4. The potential of artificial neural networks in mass appraisal: the case revisited / W. McCluskey, P. Davis, M. Haran et al. *Journal of Financial Management of Property and Construction*. 2012. Vol. 17, No. 3. P. 274–292. URL: <https://doi.org/10.1108/13664381211274371>.
5. *Кірічек Ю. О., Ланд Є. О., Гайденко Є. Ю.* Оцінка нерухомості, в тому числі земельних ділянок для цілей оподаткування. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. № 12. С. 7–12.
6. *Драпіковський О. І., Іванова І. Б.* Моделі масової оцінки міських земель. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. № 7. С. 19–28.
7. International Valuation Standards / IVSC. London, UK, 2019.
8. IAAO Standard on Mass Appraisal of Real Property. Kansas City, Missouri, USA, 2012. URL: <https://www.iaao.org/media/standards/StandardOnMassAppraisal.pdf>.
9. *Wang D., Jing Li V.* Mass Appraisal Models of Real Estate in the 21st Century: A Systematic Literature Review. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Iss. 24. URL: <https://doi.org/10.3390/su11247006>.
10. *Anselin L.* Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1988. 284 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>.
11. *Lockwood T., Rossini P.* Efficacy in Modelling Location within the Mass Appraisal Process. *Pacific Rim Property Research Journal*. 2011. Vol. 17, Iss. 3. P. 418–442. URL: <https://doi.org/10.1080/14445921.2011.11104335>.
12. *Dimopoulos T., Moulas A.* A Proposal of a Mass Appraisal System in Greece with CAMA System: Evaluating GWR and MRA techniques in Thessaloniki Municipality. *Open Geosciences*. 2016. Vol. 8, Iss. 1. P. 675–693. URL: <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0064>.
13. Modified Data-Driven Framework for Housing Market Segmentation / C. Wu, X. Ye, F. Ren, Q. Du. *Journal of Urban Planning and Development*. 2018. Vol. 144, Iss. 4. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000473](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000473).
14. *Belyaeva A. V.* Spatial models in mass appraisal of real estate. *Computer Research and Modeling*. 2012. Vol. 4, No. 3. P. 639–650. URL: <http://crm.ics.org.ru/journal/article/1932/>.
15. *D'Amato M.* A Location Value Response Surface Model for Mass Appraising: An Iterative Location Adjustment Factor in Bari, Italy. *International Journal of Strategic Property Management*. 2010. Vol. 14, No. 3. P. 231–244. URL: <https://doi.org/10.3846/ijspm.2010.17>

16. Verkooijen W. J. H. Neutral networks in Economic Modelling : Doctoral dissertation. Tilburg University, Center for Economic Research, 1996. 205 p.
17. Messe R., Wallace N. Nonparametric Estimation of Dynamic Hedonic Price Models and Construction of Residential Housing Price Indices. *Real Estate Economics*. 1991. Vol. 19, Iss. 3. P. 308–332. URL: <https://doi.org/10.1111/1540-6229.00555>.
18. Pace R. K. Parametric, Semiparametric, and Nonparametric Estimation of Characteristic Values within Mass Assessment and Hedonic Pricing Models. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*. 1995. Vol. 11, Iss. 3. P. 195–217. URL: <https://doi.org/10.1007/BF01099108>.
19. Mc Cluskey W. J., Anand S. The application of intelligent hybrid techniques for the mass appraisal of residential properties. *Journal of Property Investment & Finance*. 1999. Vol. 17, Iss. 3. P. 218–238. URL: <https://doi.org/10.1108/14635789910270495>.
20. Prediction accuracy in mass appraisal: A comparison of modern approaches / W. J. McCluskey, M. McCord, P. T. Davis et al. *Journal of Property Research*. 2013. Vol. 30, Iss. 4. P. 239–265. URL: <https://doi.org/10.1080/09599916.2013.781204>.
21. Worzala E., Lenk M., Silva A. An Exploration of Neural Networks and Its Application to Real Estate Valuation. *Journal of Real Estate Research*. 1995. Vol. 10, Iss. 2. P. 185–201. URL: <https://doi.org/10.1080/10835547.1995.12090782>.
22. Nguyen N., Cripps A. Predicting Housing Value: A Comparison of Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks. *Journal of Real Estate Research*. 2001. Vol. 22, Iss. 3. P. 313–336. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10835547.2001.12091068>.
23. A Genetic Algorithm for Modelling Locational Effects on Residential Property Prices / R. E. Cooley, A. D. Pack, M. Hobbs, A. D. E. Clewer. *The Cutting Edge 1994 Conference Proceedings*. 1994. P. 179–193.
24. Using ridge regression with genetic algorithm to enhance real estate appraisal forecasting / J. J. Ahn, H. W. Byun, K. J. Oh, T. Y. Kim. *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39, Iss. 9. P. 8369–8379. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.183>.
25. Pawlak Z. Rough Sets. *International Journal of Computer and Information Science*. 1982. Vol. 11. P. 341–356. URL: <https://doi.org/10.1007/BF01001956>.
26. Pawlak Z. Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data. Dordrecht : Kluwer Academic Publisher, 1991. 229 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-3534-4>.
27. D'Amato M. Appraising Properties with Rough Set Theory. *Journal of Property Investment and Finance*. 2002. Vol. 20, Iss. 4. P. 406–418. URL: <http://dx.doi.org/10.1108/14635780210435074>.
28. D'Amato M. A comparison between MRA and Rough Set Theory for Mass Appraisal. A case in Bari. *International Journal of Strategic Property Management*. 2004. Vol. 8 (4). P. 205–217. URL: <https://doi.org/10.3846/1648715X.2004.9637518>.
29. D'Amato M. Un'applicazione della RST per mass appraisal: il caso di Amsterdam. *Rivista del Consulente Tecnico*. 2004. Vol. 2. P. 260–282. URL: <https://iris.poliba.it/handle/11589/7739#YXWXm5rP1PZ>.
30. Del Giudice V., De Paola P., Cantisani G. B. Rough Set Theory for Real Estate Appraisals: An Application to Directional District of Naples. *Buildings*. 2017. Vol. 7 (1). URL: <https://doi.org/10.3390/buildings7010012>
31. Kilpatrick J. Expert problem solving practice in commercial property valuation: an exploratory study. *Journal of Property Investment & Finance*. 2018. Vol. 36, Iss. 4. URL: <https://doi.org/10.1108/JPIF-05-2017-0037>.
32. Ferreira F. A. F., Spahr R. W., Sunderman M. A. Using multiple criteria decision analysis (MCDA) to assist in estimating residential housing values. *International Journal of Strategic Property Management*. 2016. Vol. 20, Iss. 4. P. 354–370. URL: <https://doi.org/10.3846/1648715X.2015.1122668>.
33. Naderi L., Sharbatoghlie A., Vafaeimehr A. Housing valuation model: An investigation of residential properties in Tehran. *International Journal of Housing Markets and Analysis*.

2012. Vol. 5, Iss. 1. P. 20–40. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/17538271211206644/full/html>.

### References

1. Gloudemans, R. J., & Almy, R. R. (2011). *Fundamentals of Mass Appraisal*. Kansas City: IAAO.
2. Kauko, T., & D'Amato, M. (2008). *Mass Appraisal Methods: An international perspective for property valuers*. RICS Research.
3. Borst, R. A., & McCluskey, W. J. (2008). Using geographically weighted regression to detect housing submarkets: modeling large-scale spatial variations in value. *Journal of Property Tax Assessment & Administration*, 5 (1), 21–54. Retrieved from <https://researchexchange.iaao.org/jptaa/vol5/iss1/2>.
4. McCluskey, W., Davis, P., Haran, M., McCord, M., & McIlhatton, D. (2012). The potential of artificial neural networks in mass appraisal: the case revisited. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 17 (3), 274–292. DOI: 10.1108/13664381211274371.
5. Kirichek, Yu. O., Land, Ie. O., & Haidenko, Ie. Yu. (2012). Valuation of real estate, including land for tax purposes. *Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 12, 7–12 [in Ukrainian].
6. Drapikovskiy, O. I., & Ivanova, I. B. (2013). Models of mass assessment of urban lands. *Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 7, 19–28 [in Ukrainian].
7. IVSC. (2019). *International Valuation Standards*. London, UK.
8. IAAO (2012). *Standard on Mass Appraisal of Real Property*. Kansas City, Missouri, USA. Retrieved from <https://www.iaao.org/media/standards/StandardOnMassAppraisal.pdf>.
9. Wang, D., & Jing Li, V. (2019). Mass Appraisal Models of Real Estate in the 21st Century: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 11 (24). DOI: 10.3390/su11247006.
10. Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>.
11. Lockwood, T., & Rossini, P. (2011). Efficacy in Modelling Location within the Mass Appraisal Process. *Pacific Rim Property Research Journal*, 17 (3), 418–442. DOI: 10.1080/14445921.2011.11104335.
12. Dimopoulos, T., & Moulas A. (2016). A Proposal of a Mass Appraisal System in Greece with CAMA System: Evaluating GWR and MRA techniques in Thessaloniki Municipality. *Open Geosciences*, 8 (1), 675–693. DOI: 10.1515/geo-2016-0064.
13. Wu, C., Ye, X., Ren, F., & Du, Q. (2018). Modified Data-Driven Framework for Housing Market Segmentation. *Journal of Urban Planning and Development*, 144 (4). DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000473.
14. Belyaeva, A. V. (2012). Spatial models in mass appraisal of real estate. *Computer Research and Modeling*, 4 (3), 639–650. DOI: 10.20537/2076-7633-2012-4-3-639-650
15. D'Amato, M. (2010). A Location Value Response Surface Model for Mass Appraising: An Iterative Location Adjustment Factor in Bari, Italy. *International Journal of Strategic Property Management*, 14 (3), 231–244. DOI: 10.3846/ijspm.2010.17
16. Verkooijen, W. J. H. (1996). *Neutral networks in Economic Modelling* (Doctoral dissertation). Tilburg University, Center for Economic Research.
17. Messe, R., & Wallace, N. (1991). Nonparametric Estimation of Dynamic Hedonic Price Models and Construction of Residential Housing Price Indices. *Real Estate Economics*, 19 (3), 308–332. DOI: 10.1111/1540-6229.00555.
18. Pace, R. K. (1995). Parametric, Semiparametric, and Nonparametric Estimation of Characteristic Values within Mass Assessment and Hedonic Pricing Models. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 11 (3), 195–217. DOI: 10.1007/BF01099108.
19. McCluskey, W. J., & Anand, S. (1999). The application of intelligent hybrid techniques for the mass appraisal of residential properties. *Journal of Property Investment & Finance*, 17 (3), 218–238. DOI: 10.1108/14635789910270495.

20. McCluskey, W. J., McCord, M., Davis, P. T., Haran, M., & McIlhatton, D. (2013). Prediction accuracy in mass appraisal: A comparison of modern approaches. *Journal of Property Research*, 30 (4), 239–265. DOI: 10.1080/09599916.2013.781204.
21. Worzala, E., Lenk, M., & Silva, A. (1995). An Exploration of Neural Networks and Its Application to Real Estate Valuation. *Journal of Real Estate Research*, 10 (2), 185–201. DOI: 10.1080/10835547.1995.12090782.
22. Nguyen, N., & Cripps, A. (2001). Predicting Housing Value: A Comparison of Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks. *Journal of Real Estate Research*, 22 (3), 313–336. DOI: 10.1080/10835547.2001.12091068.
23. Cooley, R. E., Pack, A. D., Hobbs, M., & Clewer, A. D. E. (1994). A Genetic Algorithm for Modelling Locational Effects on Residential Property Prices. In *The Cutting Edge 1994 Conference Proceedings*, pp. 179–193.
24. Ahn, J. J., Byun, H. W., Oh, K. J., & Kim, T. Y. (2012). Using ridge regression with genetic algorithm to enhance real estate appraisal forecasting. *Expert Systems with Applications*, 39 (9), 8369–8379. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.01.183.
25. Pawlak, Z. (1982). Rough Sets. *International Journal of Computer and Information Science*, 11, 341–356. DOI: 10.1007/BF01001956.
26. Pawlak, Z. (1991). *Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. DOI: 10.1007/978-94-011-3534-4.
27. D'Amato, M. (2002). Appraising Properties with Rough Set Theory. *Journal of Property Investment and Finance*, 20 (4), 406–418. DOI: 10.1108/14635780210435074.
28. D'Amato, M. (2004). A comparison between MRA and Rough Set Theory for Mass Appraisal. A case in Bari. *International Journal of Strategic Property Management*, 8 (4), 205–217. DOI: 10.3846/1648715X.2004.9637518.
29. D'Amato, M. (2004). Un'applicazione della RST per mass appraisal: il caso di Amsterdam. *Rivista del Consulente Tecnico*, 2, 260–282. Retrieved from <https://iris.poliba.it/handle/11589/7739#YXWXm5rP1PZ>.
30. Del Giudice, V., De Paola, P., & Cantisani, G. B. (2017). Rough Set Theory for Real Estate Appraisals: An Application to Directional District of Naples. *Buildings*, 7 (1). DOI: 10.3390/buildings7010012
31. Kilpatrick, J. (2018). Expert problem solving practice in commercial property valuation: an exploratory study. *Journal of Property Investment & Finance*, 36 (4). DOI: 10.1108/JPIF-05-2017-0037.
32. Ferreira, F. A. F.; Spahr, R. W., & Sunderman, M. A. (2016). Using multiple criteria decision analysis (MCDA) to assist in estimating residential housing values. *International Journal of Strategic Property Management*, 20 (4), 354–370. DOI: 10.3846/1648715X.2015.1122668.
33. Naderi, I., Sharbatoghlie, A., & Vafaeimehr, A. (2012). Housing valuation model: An investigation of residential properties in Tehran. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 5 (1), 20–40. DOI: <https://doi.org/10.1108/17538271211206644>.