

УДК 69.003:334

Л.В. Сорокіна, д.е.н., доц., А.Ф. Гойко, к.е.н., проф., КНУБА, В.А. Скакун, к.е.н., ТОВ «Житлобудкомплекс», м. Київ

ДО ПРОБЛЕМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

У статті досліджено вплив фактора сезонності на вартість будівельних робіт, виконуваних на об'єктах житлового будівництва. Запропоновано низку методичних підходів та прикладних моделей щодо прогнозування вартісних показників будівельної діяльності, зокрема ланцюгового щомісячного індексу цін будівельних робіт та обсягів виконаних робіт зі спорудження житлових будівель. На основі порівняння якісних характеристик прогностичних трендових моделей із використанням та без використання адитивної сезонної компоненти між собою, а також із аналогічними показниками алгоритму нечіткого висновку типу Сугено із констант-термами вихідної змінної, доведено пріоритетність застосування кожного типу моделей для практичних цілей планування на макро- і мікрорівнях та бюджетування. Запропоновано мінімізувати вплив суб'єктивних факторів на стадії проектування алгоритмів нечіткого висновку шляхом використання результатів кластерного аналізу вибірки значень вхідної змінної для формування нечіткої бази знань в частині функцій належності вхідної змінної та констант-термів вихідної змінної.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *сезонність, денна інтенсивність виконання будівельних робіт, індекс цін на будівельні роботи, обсяги житлового будівництва, коефіцієнт автокореляції k -го порядку, трендові рівняння, авторегресійна модель, адитивна сезонна компонента, фаззі-алгоритм Сугено, кластерний аналіз, гаусова функція належності.*

Постановка проблеми. Зміна вартості будівельної продукції суттєво позначається на економічному становищі багатьох учасників будівельного процесу: це і забудовники, які прагнуть максимізувати свої доходи від реалізації збудованого житла; і підрядники, що бажають максимізувати свій фінансовий результат шляхом підвищення доходності основної діяльності; і державні фіскальні органи, які за рахунок підвищення цін могли б суттєво збільшити надходження до держбюджету; і споживачі, які внаслідок зростання цін будівельної продукції змушені змінювати свої наміри щодо обсягів та якості придбаного житла; і фінансові організації, доходи від кредитних операцій яких залежать від бажання та готовності споживачів купувати житло у поточному періоді, або віддаленій перспективі. Втрата національною економікою траєкторії сталого зростання призвела до погіршення добробуту всіх економічних суб'єктів, а диспропорція у вигляді випередженого зростання цін над реальними обсягами випуску продукції всіх галузей економіки лише збільшила тривалість рецесії. Підприємства чи не найбільше постраждали від втрати попиту на будівельні роботи, насамперед в частині житлового будівництва. Якнайшвидше подолання кризових явищ у всіх галузях економіки стає можливим виключно за рахунок обґрунтованого управління ціноутворенням на кінцеву продукцію, а не спонтанними коливаннями мінливого ринкового середовища. За таких умов у переважній більшості учасників інвестиційно-будівельного процесу, пов'язаного із чималими грошовими витратами, загострюється необхідність розробки методичного інструментарію обґрунтування економічних рішень, а також прогнозування цінової динаміки, принаймні у коротко- та середньостроковій перспективі.

Аналіз публікацій. Серед великої кількості досліджень, спрямованих на обґрунтування вартісних показників будівництва на різних прогнозних горизонтах, особливої уваги заслуговують праці [1, 9, 11, 12], в яких поглиблено вивчається просторово-регіональний

чинник здорожчення вартості будівництва, а також наводяться прикладні розробки із прогнозування вартості будівництва, в основу яких покладено результати кон'юнктурних обстежень будівельних підприємств. Втім, мінливість вартісних характеристик будівництва вкрай важко прогнозувати за допомогою традиційних регресійних моделей, а тому в роботах [5, 10] запропоновано інструментально-методичні засоби прогнозування вартісних показників економічних процесів засобами штучного інтелекту, а саме з використанням алгоритмів нечіткого висновку (фаззі-алгоритмів). Проте цей потужний методичний інструментарій розроблено не для будівництва, а для інших видів діяльності.

Мета статті полягає в обґрунтуванні методичних підходів, спрямованих на підвищення точності прогнозування рівня цін на будівельні роботи, а також вартісних показників та інтенсивності житлового будівництва у річній перспективі з урахуванням сезонних, організаційних та інших збурюючих чинників.

Виклад основного матеріалу. Не дивлячись на те, що ціни на всі види благ, в тому числі і на будівельні роботи, мають довгострокову тенденцію щодо зростання, процес зміни цін на продукцію будівництва відбувається нерівномірно. Однією із причин нерівномірного зростання цін протягом року є сезонний характер багатьох будівельних робіт, чимало з яких виконуються просто неба. Тому обсяги таких робіт та витрати, пов'язані із їх здійсненням, а отже і вартість, залежать від сезонних коливань умов роботи. Вартість будівельних робіт у зимовий період просто неба та в приміщеннях, що не обігріваються, підвищується через компенсацію додаткових витрат: робочого часу робітників-будівельників і монтажників та робітників, зайнятих на керуванні й обслуговуванні будівельних машин та механізмів, часу роботи будівельних машин та механізмів; матеріальних ресурсів, спричинених їх підвищеними втратами; на інші додаткові роботи, супутні виконанню будівельних робіт у холодну пору року, зокрема: розпушування мерзлих ґрунтів;

запобігання промерзанню ґрунтів; відтавання ґрунтів; застосування бетонів та розчинів швидкого тужавлення; введення в бетони та розчини спеціальних домішок; електропрогрівання та інші методи прогрівання бетону; утеплення конструкцій; прогрівання конструкцій та виробів, кінців труб та кабелю; улаштування, розбирання та опалення звичайних тепляків; захист робочих місць від снігових заметів, прибирання снігу з будівельних майданчиків; додаткові витрати, пов'язані з тимчасовим опаленням: використання постійних систем опалення для проведення усередині будівель будівельних та монтажних робіт, які відповідно до технічних умов та правил виконання робіт потрібно виконувати при плюсовій температурі, витрати теплової енергії на відігрівання і сушіння конструкцій, коли це потрібно за технічними умовами. Всі зазначені витрати враховуються чинними стандартами визначення вартості будівництва [3, 4], тому закономірним буде припущення щодо підвищення рівня цін на будівельну продукцію у 4-му і особливо у 1-му кварталі, що збігаються із зимовими місяцями.

У свою чергу, кошти на виконання будівельних робіт у літній період призначені для компенсації збільшення витрат трудових і технічних ресурсів, спричинених впливом підвищеної температури зовнішнього повітря виробничого середовища та пов'язаних з нею шкідливих факторів (інфрачервоне та ультрафіолетове опромінювання), а також факторів, які викликають зниження продуктивності праці робітників і будівельних машин та механізмів. Зниження продуктивності праці робітників зумовлено низкою об'єктивних чинників природного середовища — це і прискорена втома через теплове навантаження; погіршення видимості, спричинене великим рівнем освітленості та наявністю відбитого сліпучого блиску; втрати робочого часу, пов'язані з додатковими перервами в роботі. Зависока температура зовнішнього повітря у літні місяці негативно позначається і на продуктивності роботи будівельних машин та механізмів, що, насамперед, спричиняє перегрівання двигунів; підвищення температури робочої рідини в гідравлічних системах; зменшення

в'язкості моторних і трансмісійних мастил.

Всі перераховані фактори спричиняють підвищення вартості будівельних робіт, що виконуються у літній період просто неба, і їх також враховано чинними стандартами вартості будівництва [3, 4]. Отже, цілком правомірним є припущення про другий піковий період зростання щомісячних індексів вартості будівельних робіт – кінець другого – початок третього кварталу, адже досить часто спекотні дні, із середньоденною температурою понад 27°C, спостерігаються у період з травня по серпень.

Однак проведене дослідження динаміки цін на будівельні роботи в масштабах спростувало вищеподані припущення про існування помітних сезонних коливань вартості будівельних робіт в масштабах всієї будівельної галузі.

У відповідності із офіційними статистичними даними за 2010 – 2015 р.р., попри суттєві коливання індексу цін на будівельні роботи, чітко вираженого циклу шляхом візуального аналізу графіка (рис. 1) визначити не можна. Аналогічний висновок можна зробити і стосовно динаміки індексів щомісячного та середньоденного обсягу виконаних будівельних робіт, незалежно від того, чи будуть вони виражені у поточних цінах, чи приведені до єдиного вартісного рівня, наприклад шляхом перерахунку всього часового ряду на рівень цін 2010 р. І лише вартісні показники щомісячного та щоденного обсягу виконаних будівельних робіт, представлені у вигляді графіка (рис. 1), дають підстави для твердження про існування річного циклу у змінах інтенсивності будівельного виробництва. Пояснюється така періодичність не природними чи

технологічними факторами, а фінансово-організаційними чинниками: зазвичай до кінця року закривається лівова частка будівельних контрактів, а січень традиційно характеризується заниженою діловою активністю через велику кількість вихідних днів, що на практиці перетворюється на тривалі зимові канікули.

Остаточно спростовують припущення щодо існування сезонних коливань у динаміці цін на продукцію будівництва результати вивчення коефіцієнтів автокореляції індексу цін на будівельні роботи (у розрахунку до попереднього місяця) (табл. 1). Спростовують припущення про суттєві сезонні коливання будівельного виробництва і результати дослідження показників автокореляції щомісячного обсягу будівельних робіт, а також середньоденного випуску будівельної продукції (для будівництва житлових будівель). При цьому коефіцієнти автокореляції розраховувались як для номінальних значень вартісних показників, так і для реальних значень щомісячного та середньоденного обсягу житлового будівництва, перерахованих на рівень цін січня 2010 р. У табл. 1. представлено коефіцієнти автокореляції із лагом від 1 до 12 місяців, розраховані для часових рядів щомісячного індексу цін на будівельні роботи, а також середньоденної вартості будівельних робіт, виконаних на житлових об'єктах, та індексу цього вартісного показника. Вартісні показники аналізувались як у номінальному, так і у реальному масштабі, для чого їх було перераховано на рівень цін січня 2010 р.

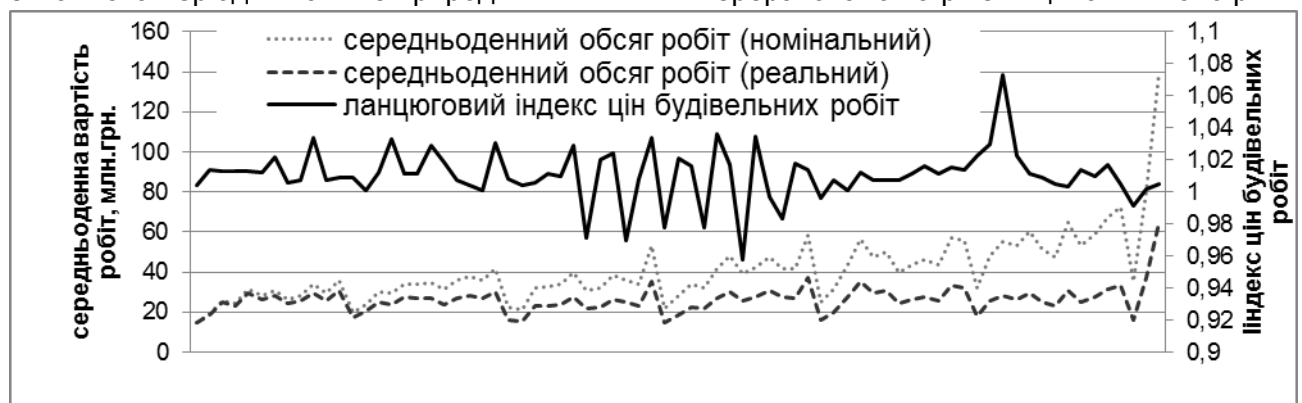


Рис. 1. Динаміка основних вартісних показників житлового будівництва (розраховано і складено авторами за даними [6, 7])

Коефіцієнти автокореляції для індексу цін на будівельні роботи та показників середньоденного випуску продукції житлового будівництва

Лаг, к, місяців	Критичне значення коефіцієнта лагової автокореляції	Індекс цін на будівельні роботи	Середньоденна вартість спорудження житлових будівель			
			номінальні показники (у поточних цінах)		реальні показники (у цінах січня 2010 р.)	
			середньоденний випуск	індекс середньоденного випуску	середньоденний випуск	індекс середньоденного випуску
1	2	3	4	5	6	7
1	0.232	-0.132	0.632	-0.238	0.198	-0.454
2	0.234	-0.136	0.411	-0.193	-0.168	-0.115
3	0.236	0.502	0.661	0.209	0.159	0.189
4	0.237	-0.231	0.588	-0.149	0.005	-0.154
5	0.239	-0.079	0.548	-0.118	0.030	-0.130
6	0.241	0.408	0.641	0.306	0.220	0.347
7	0.243	-0.329	0.576	-0.102	0.084	-0.135
8	0.244	0.092	0.442	-0.178	-0.139	-0.166
9	0.246	0.250	0.519	0.190	0.002	0.218
10	0.248	-0.354	0.499	-0.232	-0.042	-0.245
11	0.250	-0.017	0.556	-0.130	0.103	-0.140
12	0.252	0.130	0.768	0.668	0.572	0.670

(розраховано авторами за даними [6, 7])

Оскільки розрахунок кожного наступного коефіцієнта автокореляції передбачає зсув часових рядів на одну позицію, а отже і скорочення вхідного масиву даних на одиницю, то для кожного із лагових коефіцієнтів автокореляції існує своє **критичне значення**. Його із 95%-вим рівнем значимості можна обчислити за наступною формулою [3] :

$$r_k^* = \frac{2}{\sqrt{n_k}} \quad (1)$$

де n_k — кількість спостережень у ряді, зсунутому на k спостережень.

Критичні значення коефіцієнтів лагової автокореляції для досліджуваних часових рядів наведено у графі 2 табл. 1. Якщо розрахований для деякої вибірки коефіцієнт автокореляції із лагом k перевищить критичне значення (r_k^*) за модулем, то із 95%-ю впевненістю можна стверджувати про значимість автокореляції k -го порядку та можливість періодичних змін середнього із циклом, тривалість якого становитиме k періодів. У табл. 1. значимі на рівні 95% коефіцієнти лагової автокореляції виділено кольором та **жирним шрифтом**. У відповідності із розрахунками, реальна середньоденна вартість спорудження житлових будівель не зазнає жодного впливу від сезонних коливань, адже

єдиний значимий коефіцієнт автокореляції має лаг у 12 місяців, тобто підтверджується припущення про чутливість будівельної діяльності не стільки до природно-технологічних факторів, скільки до фінансово-організаційних факторів.

Аналогічний висновок можна зробити і щодо номінальної середньоденної вартості спорудження житлових будівель: в цьому випадку значимими виявились всі 12 коефіцієнтів лагової автокореляції, причому більшість із них не суттєво відрізняються за значенням (графа 4 табл. 1), дещо перевищуючи «поріг суттєвості», тобто значення коефіцієнта автокореляції, рівне 0,5. Лише для лагу у 12 місяців можна із упевненістю на 95% стверджувати про високу позитивну залежність між часовим рядом денної номінальної продуктивності галузі та рядом, зсунутим на 12 місяців, тобто на рік. Аналіз коефіцієнтів автокореляції для індексів денної продуктивності житлового будівництва, крім щорічного циклу, виявив статистично значимі, проте слабкі з погляду показників автокореляції періодичні коливання із лагами в 1 та 6 місяців. При цьому коефіцієнт автокореляції із зсувом на 1 місяць для обох індексів від'ємний. Це означає, що кожного місяця по черзі відбуваються прискорення та уповільнення інтенсивності робіт по спорудженню житлових будівель.

дженню житлових об'єктів. Звичайно, причина таких коливань напряду пов'язана із організацією будівельних робіт, в тому числі і з періодичним погіршенням матеріально-технічного забезпечення будівельного процесу. Стосовно індексу цін на будівельні роботи, річного циклу не виявлено. Серед 5 значимих коефіцієнтів автокореляції (графа 3 табл. 1) вартий уваги лише 1 — із 3-місячним лагом, який має максимальне значення. Оскільки цей коефіцієнт автокореляції $r_3 > 0,5$, можна із 95% упевненості стверджувати, що існує середній рівень тісноти зв'язку між рядом індексів цін та цим же рядом, зсунутим на 1 квартал. Тобто, зв'язок між щоквартальними коливаннями цінової динаміки скоріше існує, ніж не існує. У такому випадку є сенс побудувати прогно-стичну модель у вигляді лінійної авторег-ресійної залежності, а враховуючи висновки щодо періодичних змін цінової динаміки, доцільно включити до моделі ще й сезонну компоненту [3]. Тобто за відсутності сезонної компоненти модель прогнозування щомісячного ланцюгового індексу цін на будівельні роботи ($I_{ЦБ,t}$) мала б розраховуватись так:

$$I_{ЦБ,t} = a_0 + a_1 \cdot I_{ЦБ,t-3} \quad (2)$$

де $I_{ЦБ,t-3}$ — значення індексу цін, що на 3 місяці передує прогнозному періоду; a_0, a_1 — константи моделі, які визначаються методом найменших квадратів (МНК) і показують, відповідно вплив інших чинників, аніж ретроспективна динаміка цін у минулому кварталі, та еластичність ціни будівельних робіт щодо свого попереднього, із відставанням на 3 місяці, значення.

При включенні до моделі сезонної компоненти, модель прогнозування щомісячного ланцюгового індексу цін на будівельні роботи ($I_{ЦБ,t}^S$) має наступний вигляд:

$$I_{ЦБ,t}^S = a_0^S + a_1^S \cdot I_{ЦБ,t-3} + S, \quad (3)$$

де S — значення сезонної компоненти, яке відповідно до результатів аналізу коефіцієнтів автокореляції буде змінюватись кожні 3 місяці. Незважаючи на помісячний масштаб вхідних даних, для річного прогнозного горизонту потрібно достатньо визначити 4 показники сезонної компоненти,

відповідно S_1, S_2, S_3 та S_4 — для кожної трійки місяців. Однак численні експерименти із вибором типу моделі виявили прийнятні результати і для випадку чотирьох показників сезонної компоненти; a_0^S, a_1^S — константи моделі, аналогічні константам a_0, a_1 формули (2) і за способом обчислення, і за економічним змістом. Однак їх значення у моделях (2) та (3) можуть істотно відрізнятись, що і зумовило розбіжності у позначеннях.

На наш погляд, застосування моделей із адитивною сезонною компонентою, зручніше для прогностичних розрахунків, аніж застосування моделей із мультиплікативною компонентою. Крім того, конфігурація графіку цінової динаміки на будівельні роботи (рис.1) не дає жодних підстав для висновку щодо усталеного в часі розкиду сезонних коливань.

Для обґрунтування параметрів S, a_0^S, a_1^S моделі із сезонною компонентою (3) перед застосуванням МНК над вхідним масивом даних потрібно виконати процедуру десезоналізації [3], яка передбачає, по-перше, вирівнювання ряду за допомогою ковзної середньої — у даному дослідженні центрування ковзних середніх виконувалось по трьох точках; по-друге, обчислення сезонних залишків, як різниці між фактичними та центрованими значеннями ланцюгових індексів цін; по-третє — усереднення сезонних залишків, що і дало змогу розрахувати 4 показники сезонної компоненти, потрібні для моделі (3). Нарешті, по-четверте, для кожного спостереження було визначено десезоналізоване значення як різниця між фактичним значенням та усередненою сезонною компонентою. У результаті застосування МНК для вихідного та десезоналізованого масиву вхідних даних отримано наступні прогностичні моделі (табл.2).

Для побудови моделей було використано дані щодо ланцюгових індексів на будівельні роботи у 2010 – 2014 рр., натомість підвибірка індексів за 2015 р. та перші три місяці 2016 р. розглядалась як тестова. Шляхом підстановки індексів цін за жовтень–грудень, а також розрахункових ланцюгових індексів було обчислено прогнозні показники цінової динаміки будівельних робіт у 2015 — I кв. 2016 р. (рис.2).

Трендові моделі для прогнозування ланцюгового індексу цін на будівельні роботи

Тип моделі	Формула для прогностичних обчислень	MAPE	Розрахунковий річний індекс будівельних робіт за 2015 р.
Лінійна авторегресійна залежність (2)	$I_{ЦБ_t} = 0,358 + 0,645 \cdot I_{ЦБ_{t-3}}$	1,49%	1,207, на 6,5% менше за фактичний
Лінійна авторегресійна залежність із сезонною компонентою (3)	$I_{ЦБ_t} = 0,093 + 0,908 \cdot I_{ЦБ_{t-3}}$ Значення сезонної компоненти: $S_1=0,001$ (для прогнозу цін січня, травня, вересня), $S_2=-0,0044$ (для прогнозу цін лютого, червня, жовтня), $S_3=0,0063$ (для прогнозу цін березня, липня, листопада), $S_4=-0,0024$ (для прогнозу цін квітня, серпня, грудня)	1,13%	1,168, на 3,02% менше за фактичний

(розраховано авторами)

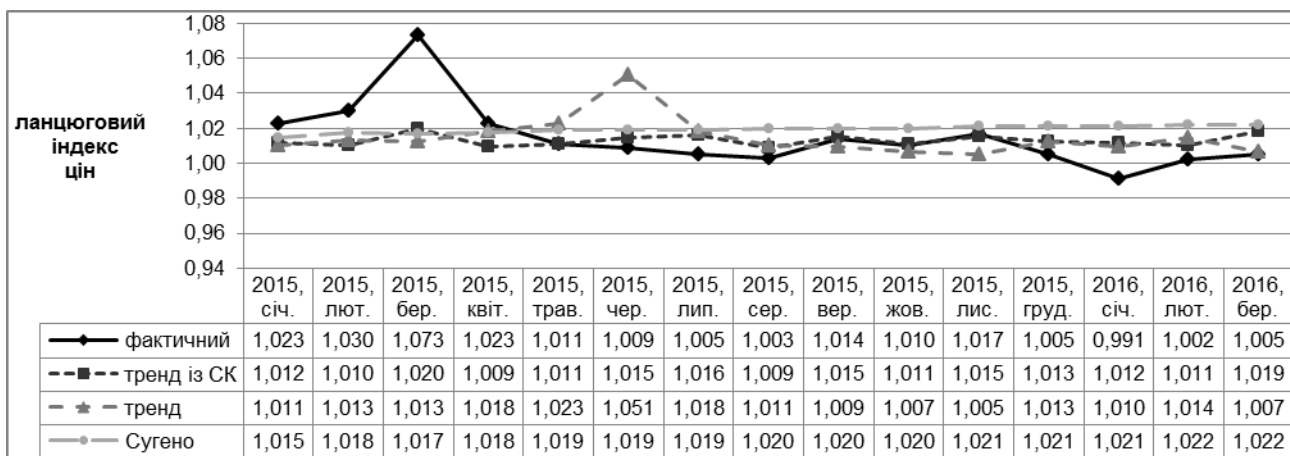


Рис. 2. Результати прогнозування динаміки ланцюгових індексів будівельних робіт

(авторська розробка)

Зіставляючи розрахункові та фактичні дані, визначили середню відсоткову помилку прогнозу (MAPE), що характеризує якість отриманих моделей і дає підстави для вибору кращої з них. Ще одним суттєвим критерієм якості моделей є міра розбіжності між фактичним та розрахунковим індексом цін будівельних робіт, за 2015 р. Цей індекс обчислювався як добуток ланцюгових індексів і фактично в 2015 р. він склав 1,245. Тобто вартість будівельних робіт на початку 2016 р. перевищувала вартість аналогічних робіт, виконаних на початку 2015 р. на 24,5%.

У відповідності із розрахунками, порівняно меншу помилку прогнозу забезпечує модель із сезонною компонентою, проте для цілей середньострокового планування показників будівельної діяльності як на галузевому рівні, так і на рівні окремого підприємства, особливо з метою бюджетування операційної діяльності, краще

застосовувати традиційну лінійну модель, оскільки річний прогноз зростання вартості будівельних робіт, обчислений за її допомогою, меншою мірою відхиляється від фактичного. Однак обидві моделі занижують річний рівень зміни цін на будівельні роботи, що спонукає до подальших розробок методів і технологій прогнозування.

Як альтернативний спосіб розробки моделі для прогнозування динаміки цін на будівельні роботи, на нашу думку, варто обрати таку технологію інтелектуального аналізу даних, як система нечіткого висновку. У найпростішому вигляді, яка, поряд із прийнятною точністю прогнозу, не повинна вимагати від користувача занадто трудомістких обчислень, доцільно було б розробити систему нечіткого висновку (фаззі-алгоритм) типу Сугено із вихідними змінними-константами. У розробленій системі є лише одна вхідна змінна: ланцюговий індекс цін із 3-місячним лагом. На основі

такої системи прогнозне значення індексу цін визначається як середньозважене кількох варіантів (констант-термів вихідної змінної), причому вагами виступають показники міри впевненості щодо належності індексу цін на будівельні роботи за 3 місяці до періоду прогнозу до певного терму для вхідних змінних. Тобто визначення прогнозного показника відбувається за сукупністю таких логічних правил-конструкцій:

«Якщо $I_{ЦБ,t-3}$ є дуже низьким, то $I_{ЦБ,t}$ буде складати $const_1$ »;

«Якщо $I_{ЦБ,t-3}$ є середнім, то $I_{ЦБ,t}$ буде складати $const_2$ »;

...

«Якщо $I_{ЦБ,t-3}$ є дуже високим, то $I_{ЦБ,t}$ буде складати $const_n$ »

за допомогою формули:

$$I_{ЦБ,t} = \frac{\sum_{i=1}^n const_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (4)$$

де μ_i — міра істинності i -го правила, яка для найпростішого фаззі-алгоритму із одним входом збігається із мірою упевненості щодо належності значення $I_{ЦБ,t-3}$ до i -го терму вхідної змінної, тобто це значення функції належності i -го терму вхідної змінної для аргументу $I_{ЦБ,t-3}$. Сумарне значення

функцій належності всіх правил $\sum_{i=1}^n \mu_i$ не обов'язково повинно дорівнювати одиниці — в цьому полягає одна із принципових рис алгоритмів нечіткого висновку, що відрізняє їх від імовірнісних методів обґрунтування рішень;

n — кількість правил фаззі-алгоритму, яка визначається дослідником самостійно. Проте оптимальна кількість правил у випадку однієї змінної відповідає кількості кластерних груп, отриманих в результаті нечіткого кластерного аналізу. Саме ця процедура реалізується сучасними програмними засобами нейро-нечіткого моделювання. Втім, кількість кластерів та склад кожної кластерної групи, виокремлених при допомозі нечіткого кластерного аналізу, в точності збігаються із результатами традиційного кластерного аналізу, виконаного за методом k -середніх.

Останнім часом для розробки фаззі-алгоритмів дослідники пропонують вдаватися до комп'ютерних процедур нейронечіткого моделювання, як засобу, що мінімізує вплив суб'єктивного чинника на стадії проектування алгоритму нечіткого висновку [5, 10]. Попри те, що нейрокомп'ютерні програми дають змогу автоматично отримати всі параметри алгоритму нечіткого висновку, їх робота являє собою «чорну скриньку», в якій сховано всі проміжні розрахунки. Тому, враховуючи результати досліджень [8], ми пропонуємо підхід до побудови фаззі-алгоритму, який ґрунтується на результатах кластерного аналізу за методом k -середніх. На основі результатів кластерного аналізу вхідного масиву спостережень щодо середніх значень (m_i) та стандартних відхилень (s_i) в межах кожного кластеру стає можливим побудувати гаусові функції належності

термів вхідних змінних ($\mu_i = e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{I_{ЦБ,t-3} - m_i}{s_i} \right)^2}$), а

також у відповідності із середньокластерними значеннями, скоригованими на 1 стандар-

тне відхилення середнього ($s_{m_i} = \frac{s_i}{\sqrt{n_i}}$,

n_i — розмір i -ї кластерної групи), обґрунтувати значення констант термів вихідної

змінної ($const_i = m_i - s_{m_i} = m_i - \frac{s_i}{\sqrt{n_i}}$).

Результати виконання кластерного аналізу, побудовані на їх основі характеристики нечіткої бази знань фаззі-алгоритму наведено в табл. 3. Як показали розрахунки, модель, побудована при допомозі алгоритму нечіткого висновку дещо завищує річний прогноз цінової динаміки — відповідний індекс цін склав **1,251 проти фактичного 1,245**. Отже, саме фаззі-алгоритм забезпечив найвищу з усіх трьох моделей точність розрахунку річної інфляції у будівництві — перевищення склало 0,53%, при порівняно незначній середній відсотковій помилці розрахунків (MAPE) 1,53%, що не суттєво відрізняється від MAPE «традиційної» авторегресійної моделі. Методичні підходи, використані для розробки моделі прогнозування ланцюгового індексу цін будівельних робіт, а саме авторегресійні моделі із урахуванням се-зонної компоненти та без неї.

Обґрунтування параметрів фаззи-алгоритму для прогнозування ланцюгового індексу вартості будівельних робіт

Кластер (характеристика ретроспективного індексу цін)	Розмір кластеру	Середньо-кластерне значення	Стандартне відхилення	Стандартне відхилення середнього	Функція належності	Константа вихідної змінної	Правило нечіткої продукції
	n_i	m_i	s_i	$S_{m_i} = \frac{s_i}{\sqrt{n_i}}$		$const_i = m_i - s_{m_i}$	
Дуже низький	4	0,965	0,009	0,004	$\mu_{дн} = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{I_{цб,t-3} - 0,965}{0,009} \right)^2}$	0,961	Якщо $I_{цб,t-3}$ є дуже низьким, то $I_{цб,t}$ буде складати 0,961
Низький	29	1,004	0,004	0,001	$\mu_n = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{I_{цб,t-3} - 1,004}{0,004} \right)^2}$	1,003	Якщо $I_{цб,t-3}$ є низьким, то $I_{цб,t}$ буде складати 1,003
Середній	24	1,015	0,004	0,001	$\mu_c = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{I_{цб,t-3} - 1,015}{0,004} \right)^2}$	1,014	Якщо $I_{цб,t-3}$ є середнім, то $I_{цб,t}$ буде складати 1,014
Високий	10	1,030	0,013	0,004	$\mu_в = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{I_{цб,t-3} - 1,030}{0,013} \right)^2}$	1,026	Якщо $I_{цб,t-3}$ є високим, то $I_{цб,t}$ буде складати 1,026

(авторська розробка)

Також одноходовий алгоритм нечіткого висновку типу Сугено із константами-вихідними змінними було застосовано для прогнозування вартості будівельних робіт на об'єктах житлового будівництва. У ролі незалежної (вхідної) змінної у відповідності із результатами вивчення коефіцієнтів автокореляції також було обрано вартість робіт, виконаних на 3 місяці раніше прогнозного періоду. Моделювання номінальних показників щомісячного обсягу виконання будівельних робіт за трьома методами, викладеними вище, призвело до наступних результатів. Алгоритм нечіткого висновку, розроблений на основі результатів кластерного аналізу, забезпечив мінімальну середню відсоткову помилку розрахунків (MAPE=19,58%<20%, що відповідає хорошій точності прогнозу) та найменше відхилення сумарного річного обсягу житлового будівництва від фактичного показника – заниження на 5%. Трендова авторегресійна модель із сезонною компонентою призвела до заниження річного обсягу будівельних робіт на 8,82% при MAPE=21,43%, що відповідає задовільній точності. «Звичайна» лінійна авторегресія показала найгірші ре-

зультати: MAPE=26,6%, а сумарну річну вартість виконаних на житлових об'єктах будівельних робіт було занижено на 20,76%. Помітні розбіжності у похибках моделей вартісних показників значною мірою пояснюються фактором масштабу, адже помісячний та річний обсяги будівельних робіт обчислюються в мільйонах гривень, а індекс цін — безрозмірна величина, що навіть в річному масштабі не перевищує 2.

Проведене дослідження дозволяє рекомендувати наступний алгоритм розробки та використання інструментарію прогнозування щомісячних вартісних показників діяльності будівельних підприємств, таких, як індекс цін будівельної продукції, обсяг реалізації будівельних робіт на об'єктах житлового будівництва, собівартість виконуваних будівельних робіт:

1. Сформувані вибірку послідовних ретроспективних даних за останні 3 – 5 років.
2. Провести кластерний аналіз за методом k-середніх, наприклад за допомогою програми Statistica:
 - а) початкову вибірку слід розподілити на 4 кластерних групи,
 - б) по кожній групі визначити кількість

спостережень (n_i), середньокластерне значення (m_i), стандартне відхилення (s_i). Зазвичай, ці показники Statistical і інші програми розраховують автоматично,

в) обчислити стандартне відхилення середнього ($s_{m_i} = \frac{s_i}{\sqrt{n_i}}$),

г) упорядкувати кластери за показником середнього значення m_i та надати кластерним групам, що є термами вхідної змінної, наступні назви: «дуже низький», «низький», «середній», «високий».

3. За розрахунками етапу 2 (кроки б) — г)) сформувані параметри нечіткої бази знань, а саме:

а) побудувати гаусові функції належності термів вхідних змінних ($\mu_i = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{t-3} - m_i}{s_i} \right)^2}$, x_{t-3} — значення прогнозованого показника за 3 місяці до початку прогнозного періоду);

б) обґрунтувати значення констант термів вхідної змінної ($const_i = m_i - s_{m_i} = m_i - \frac{s_i}{\sqrt{n_i}}$);

в) сформулювати правила нечіткого висновку за зразком «Якщо x_{t-3} є дуже низьким, то x_t буде складати $const_1$ » для всіх термів.

4. Цей етап стосується безпосередньо процедури прогнозування і передбачає наступні операції:

а) обґрунтувати значення вхідної змінної як прогнозованої змінної із 3-місячним лагом по відношенню до початку прогнозного періоду;

б) розрахувати значення функцій належності (μ_i) вхідної змінної для кожного із 4-х термів на основі значень гаусових функцій належності, встановлених на етапі 3 а);

в) використовуючи показники міри упевненості (етап 4 а)) та значення констант термів вхідної змінної (етап 3 б)), обчислити вихідну змінну фаззі-алгоритму, тобто прог-нозне значення показника як середньо-

зважене всіх 4-х термів:
$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^4 const_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^4 \mu_i}$$

Інтервал надійності прогнозованих показників вважаємо за доцільне обмежити одним стандартним відхиленням вихідної змінної, обчисленим за середньозваженим

стандартним відхиленням середнього по кожному з чотирьох кластерів. Його значення пропонуємо обчислювати аналогічно

виходу фаззі-алгоритму:
$$s_t = \frac{\sum_{i=1}^4 s_{m_i} \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^4 \mu_i}$$

Висновки. Результати проведеного дослідження свідчать про повну нечутливість вартісних показників житлового будівництва до сезонних коливань та порівняно слабку автокореляційну залежність часових рядів індексів цін на будівельні роботи та обсяги будівництва житла. Чи не найсуттєвішим фактором періодичної мінливості обсягів будівництва та цін на будівельні роботи є організаційно-фінансовий чинник, що виявляється у зростанні вартісних показників наприкінці кожного податкового звітного періоду та уповільненні досліджуваної динаміки на початку кварталу, і особливо року. Попри помірний кореляційний зв'язок між досліджуваним часовим рядом і його показниками, зсунутими на 3 місяці, лагові авторегресійні моделі можуть застосовуватись для прогнозування інфляції у будівництві та інтенсивності виконання будівельних робіт по місяцях року — при цьому забезпечується середня точність прогнозу. Моделі із адитивною сезонною компонентою мають переваги для прогнозування вартісних показників будівництва, а для обчислення динаміки цін будівельних робіт не варто ускладнювати однофакторні авторегресійні формули додатковими компонентами. Однак набагато вищу якість прогностичних розрахунків забезпечує використання алгоритмів нечіткого логічного висновку типу Сугено, в яких терми вхідної змінної є константами, а одна вхідна змінна містить 4 лінгвістичних терми із гаусовими функціями належності. З метою усунення суб'єктивних факторів, усі характеристики нечіткої бази знань, а саме параметри гаусових функцій належності і значення констант-термів вхідної змінної пропонується визначати на основі кластерного аналізу масиву вхідних даних за методом k-середніх. Щоб уникнути системного завищення результатів прогнозу, значення констант-термів вхідної змінної доцільно визначати меншими за середньокластерні значення, принаймні на одне

стандартне відхилення середнього. Спроекований у такий спосіб алгоритм нечіткого висновку порівняно простий у користуванні, забезпечує повну прозорість проміжних етапів обчислень і, що найголовніше, дозволяє отримати адекватний прогноз вихідної змінної. Перспективою подальших досліджень розробок у даному напрямку є адаптація запропонованого методичного підходу для прогнозування вартісних показників для конкретних будівельних підприємств, що характеризуються різним розміром, формою організації бізнесу, регіоном роботи, характером виконуваних будівельних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Верхоглядова Н.І., Встановлення цінової асиметрії об'єктів на регіональних ринках житлової нерухомості / Н.І.Верхоглядова, О. Ю.Щеглова // *Складні системи і процеси*. – 2012. – № 1. – С. 77 – 82. [електронний ресурс] : режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Ssip/2012_1/Verh21.pdf
2. Деордица Ю. С. Компьютерные технологии в маркетинге : [Текст] / Ю.С.Деордица, В.Т.Савченко. – Луганськ: ВУГУ, 1998. – 238с.
3. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Правила визначення вартості будівництва. — К.: Мінрегіон України. — 2013.
4. ДСТУ-Н Б Д.1.1-5:2013 Настанова щодо визначення розміру коштів на титульні тимчасові будівлі та споруди і інші витрати у вартості будівництва — К. : Мінрегіон України. — 2013.
5. Матвійчук А.В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія : [Текст] / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с
6. Сайт Державної служби статистики України. Обсяг виконаних будівельних робіт за видами будівельної продукції [електронний ресурс] : режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>– Назва з титул. екрана.
7. Сайт Державної служби статистики України. Економічна статистика / Ціни [електронний ресурс] : режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>– Назва з титул. екрана.
8. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : [Текст] / Д.Рутковская, М.Пилинський, Л. Рутковский ; [пер. с польск. И.Д.Рудинского]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 452 с.
9. Шибіріна О.С. Статистична характеристика розвитку первинного ринку нерухомого майна в Україні / О. С. Шибіріна // *Статистика України*. –2009. – № 3. – С.58.-63 : [електронний ресурс] : режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/soc_gum/su/2009_3/MAG-3-58s-63s.pdf
10. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB : [Текст] / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия – Телеком, 2007. — 288 с.
11. Яценко Л. О. Використання ABC- та XYZ-аналізу для діагностики причин, що стримують будівельну діяльність / Л. О. Яценко // *Статистика України*. –2011. – № 1. – С. 13-17 [електронний ресурс] : режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/soc_gum/su/2011_1/yashen13-17.pdf
12. Яценко Л. О. Нові підходи до статистичного аналізу цінової кон'юнктури будівельного ринку на базі інформації кон'юнктурних обстежень /Л.О.Яценко // *Статистика України*. –2009. – № 3. –С. 64-71 [електронний ресурс] : режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/soc_gum/su/2009_3/MAG-3-64s-71s.pdf

АННОТАЦИЯ

В статье исследовано влияние фактора сезонности на стоимость строительных работ. Предложен ряд методических подходов и прикладных моделей для прогнозирования стоимостных показателей строительной деятельности, таких как цепной ежемесячный индекс цен строительных работ и объемов выполненных строительных работ на объектах жилищного строительства. Путем сравнения качественных показателей прогностических трендовых моделей с использованием сезонной аддитивной компоненты и без нее между собой и с аналогичными характеристиками алгоритма нечеткого вывода типа Сугено, в котором использованы констант-термы выходящей переменной, доказано приоритетность использования каждого типа моделей для практических целей планирования на макро- и микро-уровнях и бюджетирования. Предложено минимизиро-

вать влияние субъективных факторов на стадии проектирования алгоритмов нечеткого вывода путем использования результатов кластерного анализа выборки значений входящей переменной для формирования нечеткой базы знаний, а именно функций принадлежности входящей переменной и констант-термов выходящей переменной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сезонность, средняя дневная интенсивность выполнения строительных работ, объемы жилищного строительства, коэффициент автокорреляции k -го порядка, трендовые уравнения, авторегрессионная модель, аддитивная сезонная компонента, фаззи-алгоритм Сугено, кластерный анализ, гауссовая функция принадлежности.

ANNOTATIO

In article influence of a factor of seasonality on the cost of construction works is investigated. A number of methodical approaches and applied models for forecasting of cost indexes of construction activity, such as a chain monthly price index of construction works and volumes of the performed construction works on objects of housing construction is offered. By comparison of quality indicators of predictive trend models with use seasonal additive components both without her among themselves and with similar characteristics of fuzzy-algorithm like Sugeno in whom constants terms of the output variable are used it is proved priority of use of kady type of models for practical purposes of planning on macro - and micro level and budgetings. It is offered to minimize influence of subjective factors on design fuzzy-algorithms by use of results of the cluster analysis of a selection of values of the input variable for formation of the fuzzy-knowledge base, namely gauss membership functions of the input variable and constants terms of aoutput variable.

KEYWORDS: seasonality, the average daily intensity of construction works, volumes of housing construction, coefficient of autocorrelation ordered k , trend equations, autoregression model, additive seasonal component, Sugeno's fuzzy-algorithm, cluster analysis, Gaussian membership function.

УДК 69.003:658.5

**В.П. Николаєв, д.е.н., проф.,
Т.В. Ніколаєва, к.е.н., м. Київ**

ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ: ІМПЕРАТИВИ ОПТИМІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

У контексті розвитку інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling - BIM) та концепції вартості життєвого циклу розглядаються імперативні зміни економічних взаємовідносин учасників інвестиційно-будівельного процесу: поява нового джерела ефекту та механізму його перерозподілу, нагромадження та відкриття внутрішньої інформації учасниками будівництва, командна робота на основі багатосторонніх контрактів на спільне виконання проекту, варіантне проектування на ранній стадії, уникнення проектних помилок, автоматичне формування кошторисів, орієнтація на ефективну експлуатацію наявних будівель. Пропонується по можливості випереджуваче впровадження окремих елементів нових відносин порівняно з інформаційною складовою BIM.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: BIM, інформація, об'єкт, будівля, проектування, управління.

Постановка проблеми. Інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling – BIM) знайоме, на жаль, не всім вітчизняним фахівцям і керівникам галузі, а якщо й знайоме, то здебільшого як засіб тривимірного проектування будівельних об'єктів за допомогою програмних продуктів ArchiCAD, Revit, Vectorworks тощо. У той же час, темпи поширення BIM у розвинених країнах вже наводять тамтешніх менеджерів на думку про справжню революцію в управлінні будівництвом.

Наша спроба професійного погляду на явище BIM, ніби «здалека», та порівняння