

DOI: 10.32347/2412-9933.2022.52.54-65

УДК 004.8

Цюцюра Світлана Володимирівна

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій,

<https://orcid.org/0000-0002-4270-7405>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Цюцюра Микола Ігорович

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій,

<https://orcid.org/0000-0003-4713-7568>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Єрукаєв Андрій ВіталійовичКандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, <https://orcid.org/0000-0002-9956-3713>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Костишина Наталія ВікторівнаАсистент кафедри інформаційних технологій, <https://orcid.org/0000-0003-0521-7228>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОЦІНКИ КОМФОРТНОСТІ БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ «МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ»

Анотація. Об'єктом дослідження є модель квартири в нових багатоповерхових будинках, що оцінюються клієнтами в процесі їх купівлі. Практично встановлено, що одним з найбільш проблемних місць є опрацювання результатів суб'єктивних оцінок клієнтів, які надають свої враження стосовно тієї чи іншої квартири та бажають визначити цим її попередню вартість. Для усунення цієї проблеми авторами запропоновано використати підхід з використанням мережі Петрі, що характеризується динамікою змін завдяки застосуванню генетичного алгоритму. Отриманий результат, що виражений як у якісному, так і у кількісному значенні, дає змогу мінімізувати використання фінансових та людських ресурсів у процесі укладання договору купівлі – продажу квартири. Це пов'язано з тим, що нечіткість під час опрацювання запропонованої авторами моделі усувається за допомогою методу нечіткого логічного виведення за алгоритмом Мамдані. Такий підхід має низку особливостей: можливість працювати із суб'єктивними даними, узагальнювати їх, не залучаючи складний математичний апарат. Завдяки цьому забезпечується підвищення фінансових можливостей будівельної компанії через збільшення прозорості формування ціни на квартиру в новобудові, зменшення зайвих витрат майже на 90%. Зі сторони клієнта відбувається зменшення витрат часу та коштів на залучення додаткових послуг спеціалістів більше ніж удвічі. Такий підхід допоможе клієнту самому провести аналіз чинників комфортності проживання у квартирі, яку він бажає купити. Розроблену модель пропонується застосовувати в галузях будівництва та ріелторських послуг. Це уможливить покращити умови купівлі – продажу квартири в новобудові. Умовою практичного використання отриманих результатів є здача будинку, в якому відбувається оцінка квартири, в експлуатацію. А також простий та дружній інтерфейс системи, в якому буде реалізована модель, що досліджується авторами.

Ключові слова: нечітка мережа Петрі; генетичний алгоритм; комфортність проживання; нечітке логічне виведення

Вступ

Дослідження можливостей інформатизації оцінювання рівня комфортності житлового середовища є важливою проблемою, оскільки поняття зручності є важливим аспектом життя будь-якої людини. Саме ІТ-галузь має у своєму наборі необхідні методи і моделі, які допомагають детальніше дослідити цю проблему.

На сьогодні вибрана галузь дослідження найбільш опрацьована з позиції містобудування та територіального планування. Створено картографічні карти, які охоплюють більшість факторів впливу. Однак такий метод не враховує внутрішнє сприйняття людиною комфортності.

Це зумовлено тим, що розглядувана галузь не використовує методи, що засновані на обробці нечіткості та невизначеності.

Саме в цьому і проявляється актуальність запропонованого дослідження.

Результати даних досліджень потрібні практиці, тому що необхідно опрацювати фактори комфортності, приклад яких наведено на рис. 1.

Таблиця 1 – Опис рівнів комфортності проживання в квартирі

№	Назва характеристики	Опис
1	Габаритність	Простора площа балкона чи лоджії
		Загальна площа квартири
2	Сприятливі побутові умови (просторість)	Ізольовані кімнати
		Просторі кухні
	Сприятливі побутові умови (планування)	Інсоляція квартири
		Вологість
	Середня температура	
3	Розташування квартири на поверсі	Розташування на середніх поверхах
		Гарні видові характеристики

У табл. 1 розкрито опис характеристик, які набувають позначень для визначення комфортності [1] за допомогою нечітких множин [2; 3], а саме:

а) габаритність, що має універсальну множину на проміжку [0-100] і лінгвістичну змінну, яка має вигляд: габаритність = {мала, середня, велика};

б) просторість, що має універсальну множину на проміжку [0-100] і лінгвістичну змінну, яка має вигляд: просторість = {мала, середня, велика};

в) розташування, що має універсальну множину на проміжку [0-100] і лінгвістичну змінну, яка має вигляд: розташування = {зручне, невдале, середнє}.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Представлені авторами ідеї не розглядалися запропонованими методами в наукових виданнях, проте складові, що утворюють представлену технологію, мають достатнє висвітлення. Розглянемо найважливіші з них.

Роботи [4; 5] присвячені дослідженню оцінки комфортності проживання в будинку. Але в цих роботах відсутнє чітке розгалуження між приватним будинком та багатоповерховим будинком, що на думку авторів є значним недоопрацюванням, виходячи з реалій розвитку сучасного міста. Питання широко не досліджувалося, оскільки місто є складною системою, і виокремити такий елемент не є елементарною задачею. Відповідно в [6] висвітлено фактори, які впливають на зручність проживання у

квартирі, але розкрито лише ті компоненти, що визначені за ДБН: рівень інсоляції та шуму. Цьому ще досі не було приділено достатньої уваги через присутність суб'єктивності та якісної форми факторів, що доволі важко оцінити звичайними стандартними та точними методами. У роботі [7] розглянуто принцип побудови мереж Петрі, а у [8] висвітлено нечіткі множини та операції над ними, що доповнюють мережі Петрі. Ці роботи присвячені іншим галузям дослідження, але основні етапи обробки ІТ-методів розкриті. Тому можна стверджувати, що в них відсутня практична реалізація цих методів та, звісно, не висвітлені переваги їх об'єднання. На жаль, наукова спільнота саме в цьому напрямі розглядає статистичні методи. Вона також зауважує, що саме вони є тим фундаментом, який необхідний для проведення дослідження за подібними напрямками. Варіантом подолання відповідних труднощів може бути застосування синтезу «м'яких» обчислень. Саме такий підхід обговорюється у [9], але на теоретичному рівні при порівнянні з «жорсткими» методами штучного інтелекту. Нейронні мережі, нечіткі системи та еволюційні методи розглядаються окремо одне від одного. Необхідного поєднання таких моделей та методів, що дало б можливість здійснити оцінку суб'єктивного вибору, практично немає. Це пов'язано із сильною конкуренцією у застосуванні моделей дослідження, що засновані на звичайних, точних методах. Окрім того, в роботі [10] висвітлені підходи до визначення ціни об'єктів. Але вони мають досить складну математичну будову та містять у своїй реалізації вищу алгебру. Складність та громіздкість розрахунків прийнято вважати за точність та правильність. Зручність проведення оцінювання без складних математичних розрахунків для використання принципів та методів, що входять у систему визначення якісних, неточних, нечітких показників, помилково вважається не достатньо надійною.

Це дає змогу стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого проведенню зручного оцінювання суб'єктивних пропозицій клієнта при виборі квартири за факторами, які визначають комфортність проживання. Такий підхід планується розробити на основі «м'яких» моделей і методів штучного інтелекту.

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є оцінка факторів, що впливають на комфортність квартир у багатоквартирних новобудовах. Це дасть можливість клієнту, який бажає придбати квартиру, зручно визначити її попередню вартість.

Для досягнення мети поставлено такі задачі:

- представити фактори впливу на комфортність у вигляді нечітких множин та поєднати їх у мережу Петрі;
- моделювати мережу Петрі за допомогою генетичного алгоритму;
- отримати кількісний результат з використанням нечіткого логічного виведення.

У процесі дослідження об'єкта застосовуються такі теоретичні методи:

- фазифікації нечітких даних;
- формування станів та переходів мережі Петрі;
- кросингверу та схрещування;
- дефазифікації за алгоритмом Мамдані.

У реалізованій моделі введено такі спрощення:

- кожен фактор впливу розглядається окремо від інших, як самостійна одиниця;
- нечіткі множини в своїй будові мають по три терми, що описані трикутними функціями належності;
- мережа Петрі має по одному входу та виходу;
- найкращими нащадками є вже перші діти після схрещування;
- для усунення невизначеності застосовується метод центра мас.

Умовою для проведення експерименту є наявність програмного забезпечення, що представлено продуктом MS Excel (США).

Виклад основного матеріалу

Результати дослідження оцінки факторів впливу на комфортність проживання

Фазифікація з побудовою мережі Петрі

Опис рівнів комфортності проживання в квартирі, що визначені за допомогою характеристик, які розкриті в табл. 1, наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Рівні комфортності життя в квартирі

На рис. 2 представлено нечітку множину опису квартири за параметром «габаритність», яка складається з трьох функцій належності, що має форму трикутника. Для опису лінгвістичної змінної застосовуються три функції належності, трикутної форми, що мають терми відповідно до табл. 2.

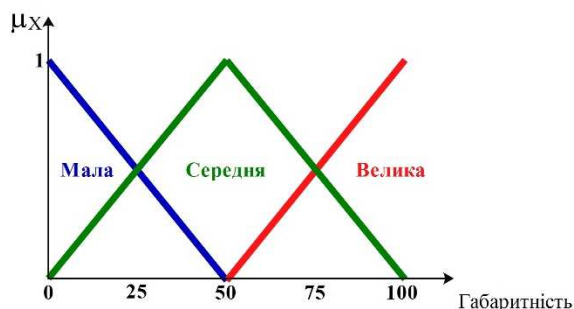


Рисунок 2 – Вигляд нечіткої множини опису квартири «Габаритність»

Згідно з проведеними дослідженнями мережа Петрі дає можливість більш детально дослідити ієрархію впливу факторів різних рівнів на комфортне проживання в квартирі та розглянути цей вплив у графічному вигляді (рис. 3).

Було виокремлено основні фактори впливу мікрорайону, прибудинкової території, будинку та, відповідно, квартири (рис. 1) для нечіткої мережі Петрі, яка складається з таких елементів:

- $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{24}\}$ – кінцева множина позицій, детальний опис в табл. 3;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_8\}$ – кінцева множина переходів, детальний опис в табл. 4.

Таблиця 2 – Опис лінгвістичної змінної «Квартира»

№	Терм лінгвістичної змінної	X		
		Проміжок	$\mu(x)=1$	$\mu(x)=0$
1	Мала	0 – 50	0	50
2	Середня	0 – 100	50	0 – 100
3	Велика	50 – 100	100	50

Таблиця 3 – Призначення позицій нечіткої мережі Петрі

Позиції	Опис
P ₁	Обрана квартира
P ₂	Пішохідна доступність мікрорайону «близька»
P ₃	Пішохідна доступність мікрорайону «віддалена»
P ₄	Пішохідна доступність мікрорайону «далека»
P ₅	Пішохідна доступність прибудинкової території «близька»
P ₆	Пішохідна доступність прибудинкової території «віддалена»
P ₇	Пішохідна доступність прибудинкової території «далека»
P ₈	Рівень шуму «зручний»
P ₉	Рівень шуму «терпимий»
P ₁₀	Рівень шуму «непереносний»
P ₁₁	Технічний стан будинку «ідеальний»
P ₁₂	Технічний стан будинку «задовільний»
P ₁₃	Технічний стан будинку «поганий»
P ₁₄	Габаритність квартири «велика»
P ₁₅	Габаритність квартири «середня»
P ₁₆	Габаритність квартири «мала»
P ₁₇	Розташування квартири «зручне»
P ₁₈	Розташування квартири «середнє»
P ₁₉	Розташування квартири «невдале»
P ₂₀	Зручність квартири «хороша»
P ₂₁	Зручність квартири «середня»
P ₂₂	Зручність квартири «погана»
P ₂₃	Ціна за квартиру «преміум»
P ₂₄	Ціна за квартиру «комфорт»
P ₂₅	Ціна за квартиру «економ»
P ₂₆	Виконана оцінка

Таблиця 4 – Опис переходів нечіткої мережі Петрі

Переходи	Опис
T ₁	Розгляд мікрорайону
T ₂	Розгляд прибудинкової території
T ₃	Розгляд будинку
T ₄	Розгляд квартири
T ₅	Формування ціни
T ₆	Фіксування значення

Функціонування нечіткої мережі Петрі (рис. 3) починається з початкової позиції P₁, при виконанні переходу t₁ відбувається розгляд мікрорайону. Далі йде перехід у позиції (P₂, P₃, P₄), де особа, що приймає рішення (ОПР), оцінює відстань, яка існує, і фіксує дані значення.

Виникає збуджений перехід t₂, де відбувається розгляд прибудинкової території. Потім йде перехід у позиції (P₅, P₆, P₇), де ОПР оцінює відстань, яка існує. Після оцінки умов для проживання

виконується перехід до наступного маркування (P₈, P₉, P₁₀), за яким ОПР оцінює рівень шуму, який існує, і відбувається фіксування даних значень.

Спрацьовує перехід t₃, де розглядаються фактори комфортності багатоквартирного будинку. Досліджуються ОПР такі позиції маркування (P₁₁, P₁₂, P₁₃), де вона оцінює технічний стан і відбувається фіксування даних значень.

Далі спрацьовує наступний перехід t₄, де розглядається квартира. ОПР спочатку вивчає позиції (P₁₄, P₁₅, P₁₆), де оцінює габаритність квартири, яка існує, потім (P₁₇, P₁₈, P₁₉), знову оцінює розташування, яке є кращим. Останнім етапом цього блоку є позиції (P₂₀, P₂₁, P₂₂), де ОПР оцінює зручність квартири, яка існує і відбувається фіксування даних значень.

Спрацьовує перехід t₅, відбувається формування ціни за показниками комфортності. Здійснюється перехід у позиції (P₂₃, P₂₄, P₂₅), де за попередніми результатами вибору ОПР відбувається попередня оцінка квартири, дані фіксуються.

Спрацьовує перехід t₆, відбувається фіксування усіх значень, тож оцінка квартири нечіткою мережею Петрі виконана.

Проведено аналіз розширеної нечіткої мережі Петрі (рис. 4), що містить такі етапи:

1. P₁, t₁, P₂, t₂, P₅, t₂, P₈, t₃, P₁₁, t₄, P₁₄, t₄, P₁₇, t₄, P₂₀, t₅, P₂₃, t₆, P₂₆.

Клієнту сподобалася квартира, отже, за його вподобаннями розпочинається оцінка з мікрорайону, потім оцінюється прибудинкова територія, далі він розглядає будинок і закінчує самою квартирою, а за цими даними виконується попереднє формування ціни квартири.

2. P₁, t₂, P₅, t₂, P₈, t₃, P₁₁, t₄, P₁₄, t₄, P₁₇, t₄, P₂₀, t₁, P₂, t₅, P₂₃, t₆, P₂₆.

Клієнту сподобалася квартира, отже, за його вподобаннями розпочинається оцінка з прибудинкової території t₂, потім він розглядає будинок t₃, далі квартиру t₄ і закінчує мікрорайоном t₁, а за цими даними виконується попереднє формування ціни квартири.

3. P₁, t₄, P₁₄, t₂, P₈, t₄, P₂₀, t₁, P₂, t₂, P₅, t₃, P₁₁, t₄, P₁₇, t₅, P₂₃, t₆, P₂₆.

Клієнту сподобалася квартира, отже, за його вподобаннями розпочинається оцінка з розгляду квартири t₄, а саме: за її габаритністю P₁₄, потім він розглядає прибудинкову територію t₂, за рівнем шуму P₈. Далі знову він цікавиться факторами квартири t₄, а саме зручністю P₂₀, а потім його цікавить мікрорайон t₁, потім його цікавить прибудинкова територія t₂, а саме пішохідна доступність P₅. Далі він розглядає будинок t₃, далі його цікавить знову квартира, а саме розташування P₁₇ і за цими даними виконується попереднє формування ціни t₅.

Оскільки у кожного клієнта є свої власні суб'єктивні побажання, то доволі складно врахувати всі можливі варіанти. Для спрощення задачі дослідження, що проводиться авторами, пропонується розглянути метод штучного інтелекту, а саме генетичний алгоритм.

На рис. 3 представлена нечітка мережа Петрі у спрощеному вигляді. Вона має складну будову і дає можливість змоделювати та відобразити взаємозв'язки між процесами, які є у нечіткій системі, що розглядається авторами.

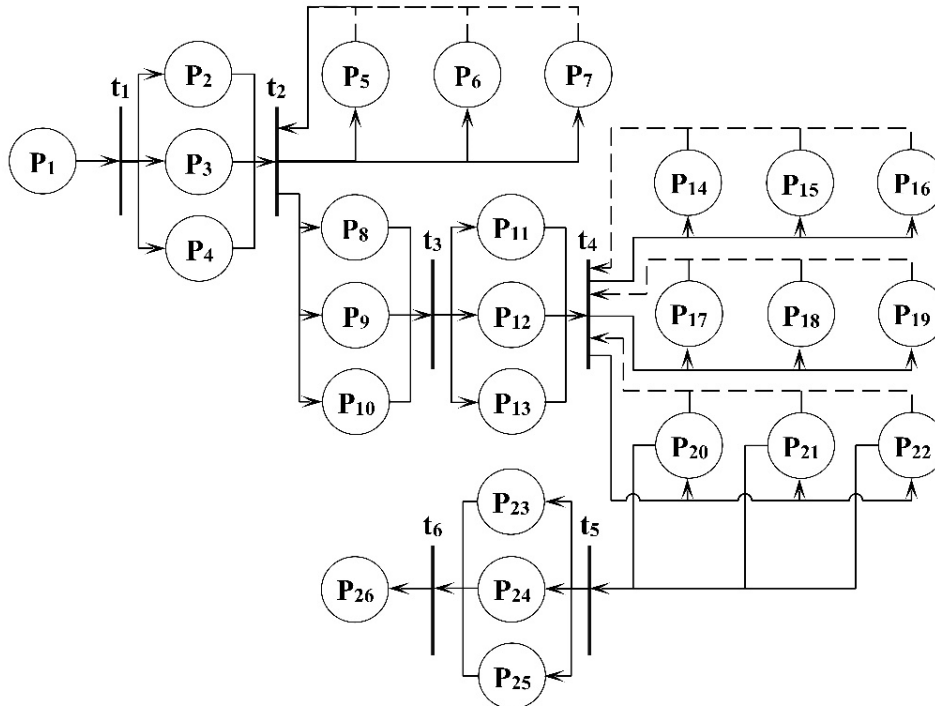


Рисунок 3 – Нечітка мережа Петрі у спрощеному вигляді

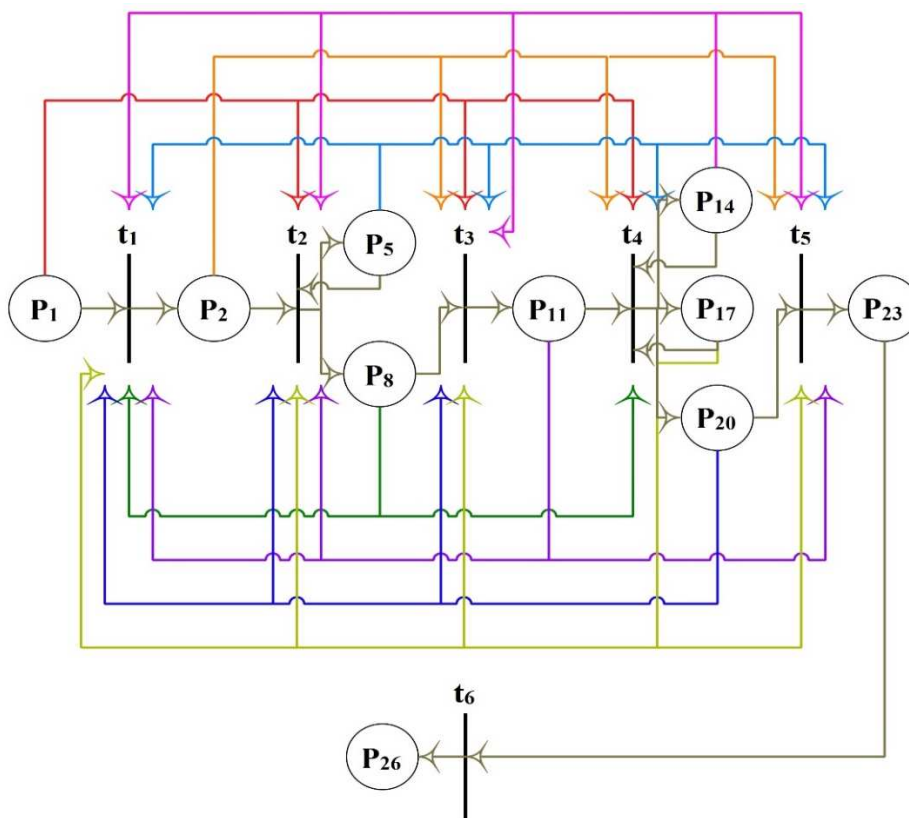


Рисунок 4 – Нечітка мережа Петрі в розширеному вигляді

На рис. 4 кольоровими лініями зображені всі можливі вибори клієнта в процесі оцінювання комфортності обраної ним квартири лише за термами, що відповідають найкращим градаціям нечітких множин.

Моделювання із залученням генетичного алгоритму

Вибір позиції – це вказування числового значення на кращість позиції.

- (0) – пусте значення;
- (1) – найкраще;
- (2) – середнє;
- (3) – найгірше.

Порядок вибору – це вибір місця клієнтом за порядком його суб'єктивної оцінки.

1. Процес знаходження суми: знаходження модуля від кількості позицій та порядку вибору.

- 1 mod 1=0; 2 mod 2=0; 5 mod 3=2; 8 mod 4=0;
- 11 mod 5=1; 14 mod 6=2; 17 mod 7=3; 20 mod 8=4.

Маємо: 0, 0, 2, 0, 1, 2, 3, 4.

2. Отримані значення з пункту 1 додаються до вибору позиції, записуються отримані значення в четвертий рядок позиції.

- 0+1=1; 0+1=1; 2+1=3; 0+1=1;
- 1+1=2; 2+1=3; 3+1=4; 4+1=5.

3. Знаходження суми значень з пункту 2.

$$1+1+3+1+2+3+4+5=20.$$

Основна ідея полягає у випадковому виборі індивідуума із популяції пропорційно до його пристосованості.

Формування початкової популяції для етапу відбору батьків з восьми хромосом (індивідуумів) у вигляді табл. 5, де під літерами українського алфавіту мається на увазі хромосома x_i .

Таблиця 5 – Метод відбору пропорційної пристосованості

Індивідуум	Пристосування, f	Частка, %	Нове значення функції, f, f*
А	20	9,80	50
Б	23	11,27	65
В	26	12,75	80
Г	30	14,71	100
Ґ	29	14,21	95
Д	20	9,80	50
Е	26	12,75	80
Є	30	14,71	100
Σ	204	100	–

Отже, є вісім особин у популяції з різним ступенем пристосування, діапазон від 20 до 30. І надалі відбувається їх переведення в діапазон від 50 до 100 за допомогою формул:

$$\begin{cases} a \cdot f_{\min} + b = d_{\min} \\ a \cdot f_{\max} + b = d_{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

де $f_{\min} = 20$, $f_{\max} = 30$, – мінімальне і максимальне значення пристосування особин в популяції; $d_{\min} = 50$, $d_{\max} = 100$ – мінімальне і максимальне значення діапазона.

Виходячи із системи лінійного рівняння, знаходимо коефіцієнти a , b :

$$a = \frac{d_{\min} - d_{\max}}{f_{\min} - f_{\max}}, \quad (2)$$

$$b = d_{\min} - a \cdot f_{\min}. \quad (3)$$

Отже, здійснюється перехід до наступного етапу, де виконується переведення значень з [20–30] в новий діапазон [50–100] за допомогою математичної формули:

$$f^* = a \cdot f + b, \quad (4)$$

де a , b – коефіцієнти перетворення (лінійної функції); f – значення пристосування особин.

Наступним кроком є представлення досліджень у вигляді кругової діаграми (рис. 5), сектори якої відповідають кожній частині.

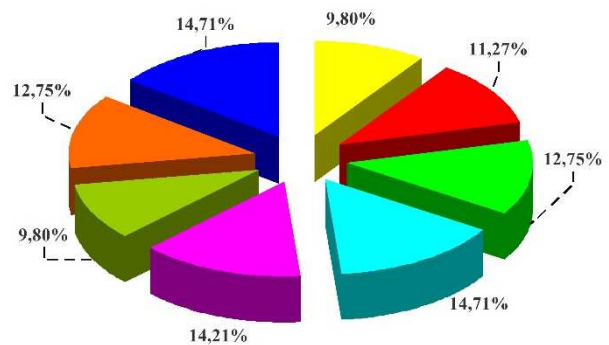


Рисунок 5 – Побудова кругової діаграми для значення f

Як видно з рис. 6, 7, завдяки пропонованому методу відбувається розрахунок частини відносності рангу (саме його, а не інших характеристик генетичного алгоритму). Завдяки цьому кожна з частин сектору має більш рівномірний вигляд, а отже, батьки з популяції мають рівні шанси на вибір з популяції.

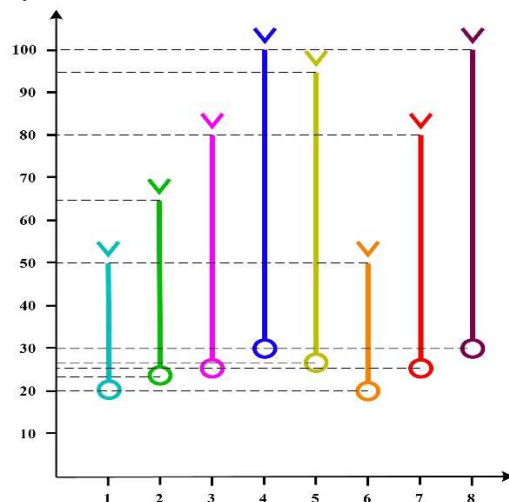


Рисунок 6 – Відображення попередніх значень f в новий діапазон f^*

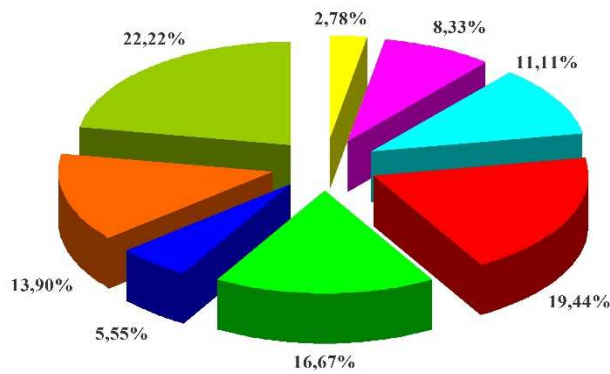


Рисунок 7 – Побудова кругової діаграми після масштабування

Операції з вибраними батьками відбуваються за допомогою кросингвера, графічне представлення якого розкрито на рис. 8.

На рис. 8 необхідно звернути увагу на хромосоми нащадків. Як видно зі схеми, вони повторюють увесь біологічний матеріал своїх батьків, який згідно з операцією схрещування має визначені перестановки.

Експериментальна перевірка отриманих результатів

Згідно з рис. 9 існують такі значення функції належності роботи нечіткої мережі Петрі:

- $\mu_1 = 0,24$; $\mu_2 = 0,26$; $\mu_3 = 0,24$; $\mu_4 = 0,74$;
- $\mu_5 = 0,26$; $\mu_6 = 0,14$; $\mu_7 = 0,14$;
- $\mu_8 = 0,14$; $\mu_9 = 0,64$; $\mu_{10} = 0,26$; $\mu_{11} = 0,14$;
- $\mu_{12} = 0,14$; $\mu_{13} = 0,36$; $\mu_{14} = 0,26$.

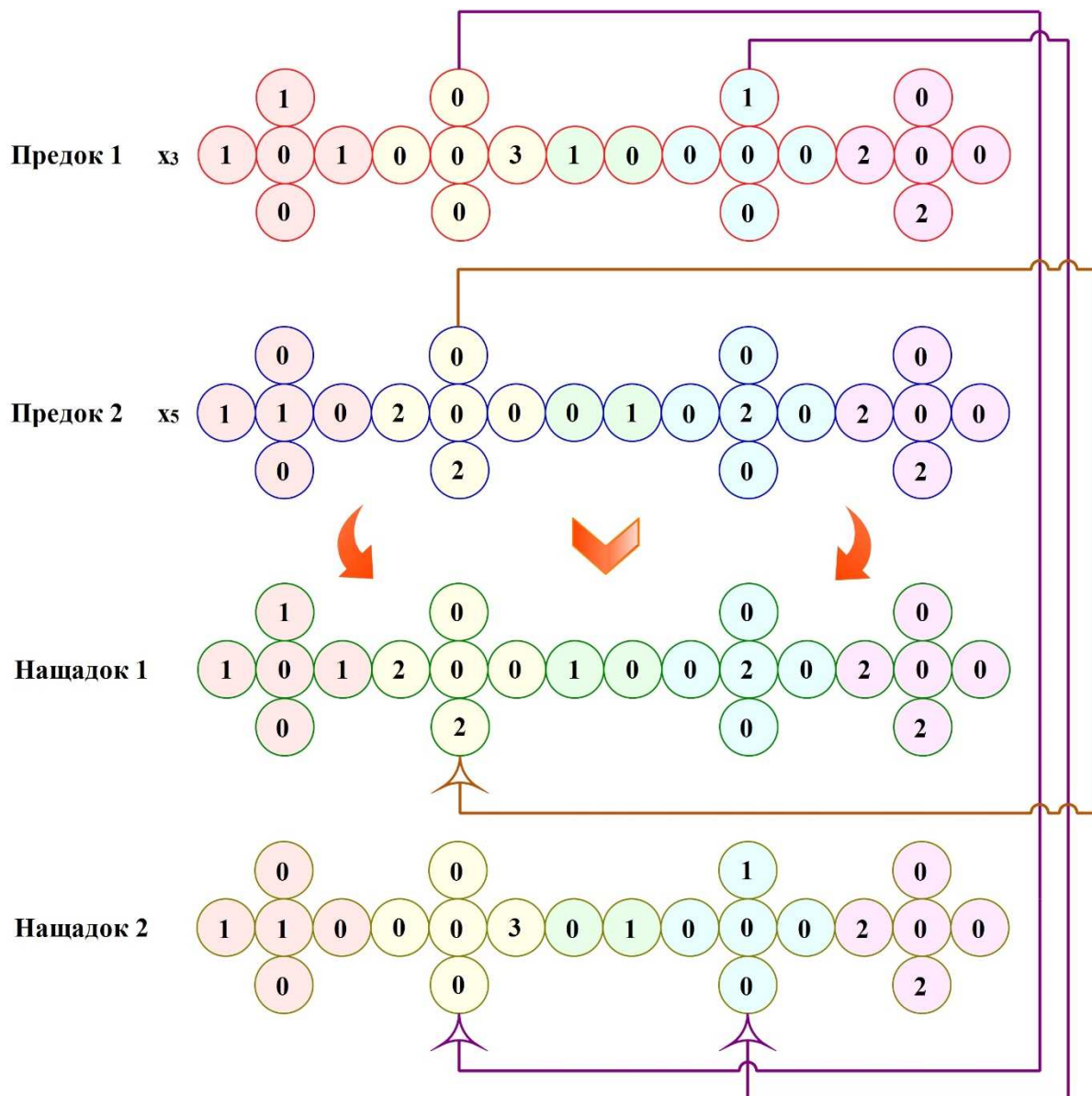


Рисунок 8 – К-точковий кросенгвер

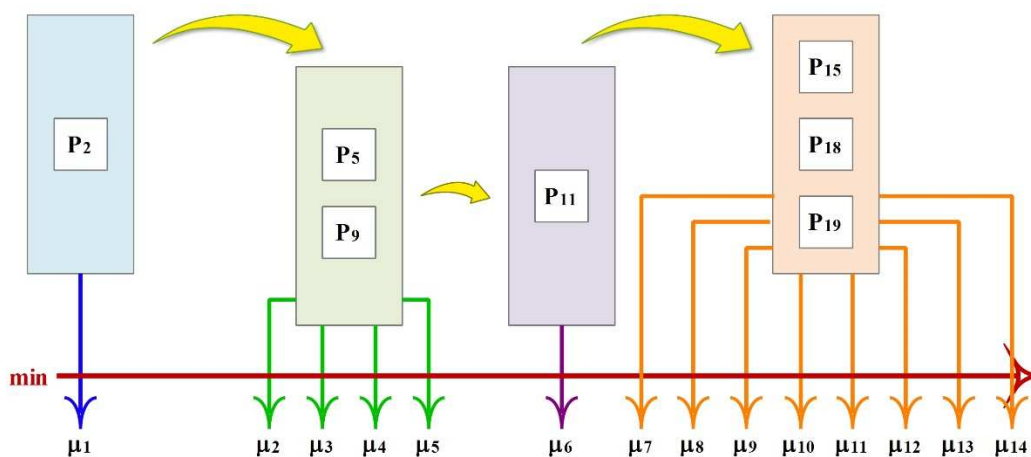


Рисунок 9 – Структура нечіткого виведення Мамдані

Проміжний результат «Комфортність», що має лінгвістичні значення (найкраща, середня, незначна) для квартири, представлено у вигляді нечітких продукційних правил:

1. Якщо габаритність = велика та розташування = зручне та зручність хороша, то комфортність = найкраща.

2. Якщо габаритність = велика та розташування = зручне та зручність середнє, то комфортність = найкраща.

3. Якщо габаритність = велика та розташування = зручне та зручність погана, то комфортність = середня.

4. Якщо габаритність = велика та розташування = середнє та зручність хороша, то комфортність = найкраща.

5. Якщо габаритність = велика та розташування = середнє та зручність середнє, то комфортність = середня.

6. Якщо габаритність = велика та розташування = середнє та зручність погана, то комфортність = незначна.

7. Якщо габаритність = велика та розташування = невдале та зручність хороша, то комфортність = середня.

8. Якщо габаритність = велика та розташування = невдале та зручність середнє, то комфортність = незначна.

9. Якщо габаритність = велика та розташування = невдале та зручність погана, то комфортність = незначна.

10. Якщо габаритність = середня та розташування = зручне та зручність хороша, то комфортність = найкраща.

11. Якщо габаритність = середня та розташування = зручне та зручність середнє, то комфортність = середня.

12. Якщо габаритність = середня та розташування = зручне та зручність погана, то комфортність = незначна.

13. Якщо габаритність = середня та розташування = середня та зручність хороша, то комфортність = незначна.

14. Якщо габаритність = середня та розташування = середня та зручність середня, то комфортність = незначна.

15. Якщо габаритність = середня та розташування = середня та зручність погана, то комфортність = незначна.

16. Якщо габаритність = середня та розташування = невдала та зручність хороша, то комфортність = середня.

17. Якщо габаритність = середня та розташування = невдала та зручність середня, то комфортність = незначна.

18. Якщо габаритність = середня та розташування = невдала та зручність погана, то комфортність = незначна.

19. Якщо габаритність = мала та розташування = зручне та зручність хороша, то комфортність = середня.

20. Якщо габаритність = мала та розташування = зручне та зручність середня, то комфортність = незначна.

21. Якщо габаритність = мала та розташування = зручне та зручність погана, то комфортність = незначна.

22. Якщо габаритність = мала та розташування = середнє та зручність хороша, то комфортність = середня.

23. Якщо габаритність = мала та розташування = зручне та зручність погана, то комфортність = незначна.

24. Якщо габаритність = мала та розташування = середнє та зручність погана, то комфортність = незначна.

25. Якщо габаритність = мала та розташування = невдале та зручність хороша, то комфортність = незначна.

26. Якщо габаритність = мала та розташування = невдале та зручність середня, то комфортність = незначна.

27. Якщо габаритність = мала та розташування = невдале та зручність погана, то комфортність = незначна.

Результат роботи нечіткого логічного виведення за алгоритмом Мамдані для складової мережі Петрі, що описує позицію «Комфортність» за прибудинковою територією, представлено на рис. 10.

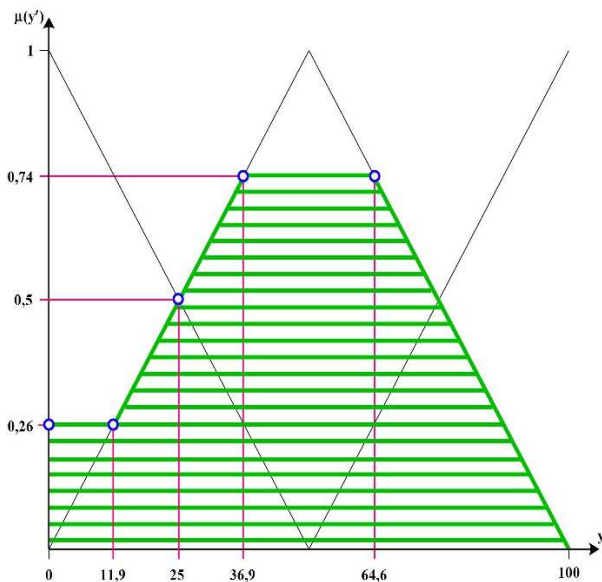


Рисунок 10 – Етап дефазифікації прибудинкової території P_5 і рівня шуму P_9

$$y = \frac{\sum y' \cdot \mu(y')}{\sum \mu(y')} \quad (5)$$

Підставивши значення за рис. 10 у формулу 5, отримаємо таке значення дефазифікації:

$$y = \frac{0 \cdot 0,26 + 0,26 \cdot 11,9 + 0,5 \cdot 25 + 0,74 \cdot 36,9 + 0,74 \cdot 64,6 + 0,5 \cdot 75 + 0 \cdot 100}{0,26 + 0,26 + 0,5 + 0,74 + 0,74 + 0,5 + 0} = \frac{91,06}{3} = 30.$$

За 100-бальною шкалою було отримано значення 30. Це говорить про те, що прибудинкова територія квартири, яка оцінюється, є досить шумною.

Обговорення результатів дослідження оцінки факторів впливу на комфортність проживання

Згідно з поставленими задачами, маємо такі результати:

1. Фактори впливу, частина яких представлена на рис. 1, увійшли в загальну схему нечіткої мережі Петрі (рис. 3) та її розширення (рис. 4). Робота цієї мережі розкрита за табл. 3, 4, де кожна її позиція має

вигляд, що представлений прикладом на рис. 2.

Розглядаючи наявні підходи в [11; 12], цим результатом вдалося повністю охопити наявний суб'єктивізм у процесі оцінювання комфортності проживання. Це, на відміну від розглянутих робіт, забезпечується методами нечітких множин.

2. Розширено мережу Петрі генетичним алгоритмом з використанням формул (1) – (4), які опираються на дані з табл. 5. Цей процес включає етапи, що проілюстровані на рис. 6, 8.

У порівнянні з [13; 14], отриманий результат виконано без залучення клієнтів як експертів для роботи моделі, яка досліджується. Цим обґрунтовується використання апарату генетичного алгоритму.

3. Експериментально перевірено роботу нечіткої мережі Петрі із застосуванням етапу нечіткого логічного виведення. Його робота описана формулою (5) та проілюстрована прикладом на рис. 10.

На відміну від [15], де використовувалися статистичні методи, цей результат не потребує залучення накопиченої бази даних, оскільки алгоритм Мамдані дає змогу працювати з доволі обмеженим масивом даних.

Послання вищеописаних результатів надає можливість клієнту зручніше визначити попередню вартість квартири.

Отримані результати вирішують проблемну частину дослідження через таке:

1. Залучення "м'яких" обчислень – нечітких множин та генетичного алгоритму, що дає змогу в процесі оцінювання комфортності оперувати нетехнічною, повсякденною мовою.

2. Розширення мережі Петрі, що дає змогу врахувати переважну більшість усіх побажань клієнта при оцінці квартири.

3. Нечітке логічне виведення, що допомагає приховати усі обчислювальні процеси і надати користувачу відповідь як в кількісному вигляді, так і природною мовою, що є більш зручним.

Обмеженням цього дослідження є застосування запропонованої моделі лише на кінцевому етапі будівництва – після здачі будинку, в якому відбувається оцінювання квартири, в експлуатацію.

Пропоноване дослідження має такі недоліки:

– опрацьовані далеко не всі фактори, що описують комфортність проживання;

– у зв'язку з існуючим воєнним станом в Україні, комфортність проживання може бути зовсім не на першому місці при виборі квартири.

У подальшому авторами пропонується розширити нечітку мережу Петрі додатковими факторами впливу, щоб була можливість визначити

не лише комфортність проживання як вже кінцевого етапу будівництва. Також на меті є покращення попередніх етапів, що підвищить рівень якості квартир у багатоквартирному будинку. Через динамічність цієї моделі, що забезпечується алгоритмом еволюційного моделювання, спектр її застосування не обмежується лише будівельною галуззю. Автори планують узагальнити розглянуту модель методами системного підходу, щоб її можна було використовувати в інших сферах виробництва.

Висновки

1. Визначено фактори, що впливають на комфортність проживання. Здійснено перетворення факторів у нечіткі множини та побудовано на їх основі нечітку мережу Петрі.
2. Опрацьовано кроки побудови генетичного алгоритму на реалізації нечіткої мережі Петрі.
3. Представлено результат роботи нечіткої мережі Петрі, що має кількісне значення за алгоритмом Мамдані.

Список літератури

1. Tsiutsiura, Mykola; Kostyshyna, Nataliia; Yerukaiev, Andrii; Tyshchenko, Dmytro. (2022). Representation of comfort indicators by means of DFD-diagrams. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 26–32.
2. Dogan Ibrahim. (2016). An overview of soft computing. 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016. Vienna, Austria. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916325467>.
3. Tsiutsiura, S.V., Kyivska, K.I., Tsiutsiura, M.I., Kryvoruchko, O.V., Dmytrychenko, A.M. (2019). Formation of a generalized information model of a construction object. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(2), 69–79.
4. Заяць В. С. (2019). Розвиток житлового будівництва як фактор формування житлових умов населення. *Демографія та соціальна економіка*, 2 (3), 137–151. DOI: <https://dse.org.ua/arhcive/36/10.pdf>.
5. Цифра Т. Ю. (2018). Класифікація житла за типами доступності методом дискримінантного аналізу. *Ефективна економіка*, 9. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/9_2018/43.pdf.
6. Kyivska, K. I., Tsiutsiura, S. V., Tsiutsiura, M. I., Yerukaiev, A. V., Hots, V. V. (2019). A study of the concept of parametric modeling of construction objects *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 10(2), 636–646.
7. Yi-Nan Lin, Tsang-Yen Hsieh, Cheng-Ying Yang, Victor R.L. Shen, Tony TongYing Juang & Ting-Jui Huang. (2020). Review on Petri net modeling and analysis of a smartphone manufacturing system. *Cogent Engineering*, 7:1, 1851630 Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311916.2020.1851630?needAccess=true>.
8. Pratibha Rani, Arunodaya Raj Mishra. (2022). Interval-valued fermatean fuzzy sets with multi-criteria weighted aggregated sum product assessment-based decision analysis framework. *Neural Computing and Applications* (2022) 34:8051–8067. Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00521-021-06782-1.pdf>.
9. Sourabh Katoch, Sumit Singh Chauhan, Vijay Kumar. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 8091–8126. Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11042-020-10139-6.pdf>.
10. Paul C. Jennings, Steen Lysgaard, Jens Strabo Hummelshøj, Tejs Vegge, Thomas Bligaard. (2019). Genetic algorithms for computational materials discovery accelerated by machine learning. *npj Computational Materials*, 5(46). Available at: <https://www.nature.com/articles/s41524-019-0181-4.pdf>.
11. Mykola, T., Svitlana, T., Andrii, Y., Kateryna, K., Mykola, K. (2020). Protection of information in assessing the factors of influence ATIT 2020 – Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, 285–289.
12. Tsiutsiura, Mykola, Kostyshyna, Nataliia, Yerukaiev, Andrii & Tyshchenko, Dmytro. (2022). Representation of comfort indicators by means of DFD-diagrams. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 26–32, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.26-32](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.26-32).
13. Cengiz Kahraman, Başar Öztayşi, Sezi Çevik Onar. (2016). A Comprehensive literature review of 50 years of fuzzy set theory, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9 (1). Available at: https://www.researchgate.net/publication/298208497_A_Comprehensive_Literature_Review_of_50_Years_of_Fuzzy_Set_Theory.
14. Su-Hyun Han, Ko Woon Kim, SangYun Kim, Young Chul Youn. (2018). Artificial neural network: understanding the basic concepts without mathematics. *Dement Neurocogn Disord*, 17(3), 83–89. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6428006/pdf/dnd-17-83.pdf>.
15. Volodymyr Lytvynenko, Olena Kryvoruchko, Irina Lurie, Nataliia Savina, Oleksandr Naumov, Mariia Voronenko. (2020). Comparative studies of self-organizing algorithms for forecasting economic parameters. 12(6), 1–15.

Стаття надійшла до редколегії 10.12.2022

Tsiutsiura Svitlana

DSc (Eng.), Professor, Head of Department of Information Technologies, <https://orcid.org/0000-0002-4270-7405>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Tsiutsiura Mykola

DSc (Eng.), Professor, Professor of Department of Information Technologies, <https://orcid.org/0000-0003-4713-7568>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Yerukaiev Andrii

PhD (Eng.), Associate Professor of Department of Information Technology, <https://orcid.org/0000-0002-9956-3713>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Kostyshyna Nataliia

Assistant of the Department of Information Technologies, <https://orcid.org/0000-0003-0521-7228>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING THE COMFORT OF AN APARTMENT BUILDING USING “ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS”

Abstract. The object of the study is a model of an apartment in new multi-story buildings, which are evaluated by customers in the process of their purchase. It has been practically established that one of the most problematic areas is the processing of the results of subjective evaluations of customers who give their impressions of a particular apartment and wish to determine its preliminary value. To eliminate this problem, the authors proposed to use an approach using a Petri net, which is characterized by the dynamics of changes due to the application of a genetic algorithm. The obtained result, which is expressed both qualitatively and quantitatively, makes it possible to minimize the use of financial and human resources in the process of concluding a contract for the purchase and sale of an apartment. This is due to the fact that the ambiguity during processing of the model proposed by the authors is eliminated using the method of fuzzy logic derivation according to the Mamdani algorithm. This approach has a number of features: the ability to work with subjective data, to generalize them, without involving a complex mathematical apparatus. Thanks to this, an increase in the financial capabilities of the construction company is ensured due to an increase in the transparency of the formation of the price for an apartment in a new building, a reduction of unnecessary costs by almost 90%. On the part of the client, the cost of time and money to attract additional services of specialists is reduced by more than half. This approach will help the client to analyze the comfort factors of living in the apartment he wants to buy. The developed model is proposed to be used in the fields of construction and real estate services. This will make it possible to improve the conditions of buying and selling an apartment in a new building. The condition for the practical use of the obtained results is the commissioning of the building in which the apartment is evaluated. And also a simple and friendly system interface in which the model studied by the authors will be implemented.

Keywords: fuzzy Petri net; genetic algorithm; comfort of living; fuzzy logical deduction

References

1. Tsiutsiura, Mykola; Kostyshyna, Nataliia; Yerukaiev, Andrii; Tyshchenko, Dmytro. (2022). Representation of comfort indicators by means of DFD-diagrams. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 26–32.
2. Dogan, Ibrahim. (2016). An overview of soft computing. 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016. Vienna, Austria. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916325467>.
3. Tsiutsiura, S. V., Kyivska, K. I., Tsiutsiura, M. I., Kryvoruchko, O. V., Dmytrychenko, A. M. (2019). Formation of a generalized information model of a construction object. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(2), 69–79.
4. Zaiats, V. S. (2019). The development of residential construction as a factor in the formation of living conditions of the population. *Demography and Social Economy*, 2 (3), 137–151. Available at: <https://dse.org.ua/arhivcive/36/10.pdf>.
5. Tsyfra, T. Yu. (2018). Classification of housing according to types of availability by the method of discriminant analysis. *Effective economy*, 9. Available at: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/9_2018/43.pdf.
6. Kyivska, K. I., Tsiutsiura, S. V., Tsiutsiura, M. I., Yerukaiev, A. V., Hots, V. V. (2019). A study of the concept of parametric modeling of construction objects. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 10(2), 636–646.
7. Yi-Nan, Lin, Tsang-Yen, Hsieh, Cheng-Ying, Yang, Shen, Victor R.L. Tony, TongYing Juang & Ting-Jui, Huang. (2020). Review on Petri net modeling and analysis of a smartphone manufacturing system. *Cogent Engineering*, 7, 1, 1851630. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311916.2020.1851630?needAccess=true>.
8. Pratibha, Rani, Arunodaya, Raj Mishra. (2022). Interval-valued fermatian fuzzy sets with multi-criteria weighted aggregated sum product assessment-based decision analysis framework. *Neural Computing and Applications*, 34, 8051–8067. Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00521-021-06782-1.pdf>.
9. Sourabh, Katoch, Sumit, Singh Chauhan, Vijay, Kumar. (2021). A review on genetic algorithms: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 8091–8126. Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11042-020-10139-6.pdf>.

10. Jennings, Paul C., Lysgaard, Steen, Hummelshøj, Jens Strabo, Vegge, Tejs, Bligaard, Thomas. (2019). Genetic algorithms for computational materials discovery accelerated by machine learning. *Computational Materials*, 5(46). Available at: <https://www.nature.com/articles/s41524-019-0181-4.pdf>.

11. Mykola, T., Svitlana, T., Andrii, Y., Kateryna, K., Mykola, K. (2020). Protection of information in assessing the factors of influence ATIT 2020 – Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, 285–289.

12. Tsiutsiura, Mykola, Kostyshyna, Nataliia, Yerukaiev, Andrii & Tyshchenko, Dmytro. (2022). Representation of comfort indicators by means of DFD-diagrams. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 26–32, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.26-32.

13. Cengiz, Kahraman, Başar, Öztayşi, Sezi, Çevik Onar. (2016). A Comprehensive literature review of 50 years of fuzzy set theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9 (1). Available at: https://www.researchgate.net/publication/298208497_A_Comprehensive_Literature_Review_of_50_Years_of_Fuzzy_Set_Theory.

14. Su-Hyun, Han, Ko Woon, Kim, SangYun, Kim, Young, Chul Youn. (2018). Artificial neural network: understanding the basic concepts without mathematics. *Dement Neurocognitive Disord*, 17(3), 83–89. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6428006/pdf/dnd-17-83.pdf>.

15. Lytvynenko, Volodymyr, Kryvoruchko, Olena, Lurie, Irina, Savina, Nataliia, Naumov, Oleksandr, Voronenko, Mariia. (2020). Comparative studies of self-organizing algorithms for forecasting economic parameters, 12 (6), 1–15.

Посилання на публікацію

APA Tsiutsiura, Svitlana, Tsiutsiura, Mykola, Yerukaiev, Andrii & Kostyshyna, Nataliia. (2022). Development of a model for assessing the comfort of an apartment building using “artificial intelligence methods”. *Management of Development of Complex Systems*, 52, 54–65, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.54-65.

ДСТУ Цюцюра С. В., Цюцюра М. І., Єрукаєв А. В., Костишина Н. В. Розробка моделі оцінки комфортності багатоквартирного будинку з використанням “методів штучного інтелекту”. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 52. С. 54 – 65, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.54-65.