

УДК 504.064.36

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2023.56.57-63>

Олексій МІХНО, канд. техн. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0003-4994-2405

e-mail: almikhno@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ігор ПАТРАКЕСЬ, канд. техн. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0002-0448-8790

e-mail: ipatr@ukr.net

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Наталія ЛЕВІНСЬКОВА, доц.

ORCID ID: 0000-0002-2532-2925

e-mail: levinskova@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Вступ. У процесі проведення опису територій суміжної недружньої держави зазвичай дійсна інформація щодо розвитку цих територій приховується, тому треба застосовувати прогностичний апарат експертного оцінювання за отриманою інформацією з відкритих джерел. Розглянуто підґрунтя воєнно-географічного аналізу урбанізованих територій щодо застосування експертного оцінювання для багатьох критеріїв. За великої кількості варіантів прийняття прогностичних рішень питання вибору альтернативи (варіанта рішення) має бути цілком обґрунтованим. Для таких випадків доцільно використати ранжування на основі методу аналізу ієрархічних структур. Метою такого опису є підвищення обґрунтованості прийнятих рішень під час вибору оптимальної альтернативи шляхом створення інструментальних засобів формалізованого оцінювання суджень експертів.

Методи. Використано такі методи: системний аналіз під час формування моделі метаболізму міського середовища; метод аналізу ієрархій для застосування багатокритеріального вибору альтернатив; метод експертного оцінювання як глобальний метод визначення стану об'єкта за багатьма критеріями; методи теорії множин і теорії корисності, за допомогою функцій яких моделювались переваги прийняття відповідного рішення на множині допустимих альтернатив.

Результати. Із запропонованих альтернатив на підставі отриманих функцій корисності обрано найоптимальнішу, з погляду експертів, альтернативу, яку можна використовувати під час планування заходів щодо забезпечення сталого розвитку міського середовища. Обчислені характеристики функцій корисності використовують як критерій для вибору оптимальної альтернативи. Запропоновані критерії та альтернативи подано у вигляді ієрархії.

Висновки. Закладено підґрунтя для додаткових досліджень і застосування методології аналізу ієрархій та теорії корисності в досягненні цілей сталого розвитку урбанізованих територій у прогностичних моделях воєнно-географічного аналізу.

Ключові слова: воєнно-географічний аналіз, експертне оцінювання, теорія корисності, аналіз ієрархій, системний аналіз.

Вступ

Прогностичний аналіз розвитку урбанізованих територій (міського середовища), який є ваговою складовою воєнно-географічного аналізу, є досить трудомісткою задачею, яка зазвичай вимагає маніпуляцій з багатьма критеріями, які описуються функцією корисності. Визначені експертами та особою, яка приймає рішення, характеристики функції корисності містяться в переліку вимог до набору критеріїв для оцінювання та формування перспективних програм сталого розвитку міського середовища. Це завдання належить до проблеми прийняття рішення щодо вибору найкращої з наявних альтернатив (варіантів рішення). На сьогодні розроблено безліч математично обґрунтованих методів ухвалення рішень. Проте багато практично важливих завдань, зокрема завдання забезпечення стійкого розвитку як міських територій, так і міського середовища, у цілому, залишаються слабо формалізованими. Ухвалення рішень є актом вибору альтернативи з допустимої множини, в основі якого лежить модель, що має вигляд

$$x^{\circ} = \text{extr } K(x), \quad x \in X, \quad (1)$$

де x° – ефективні рішення; x – множина допустимих рішень; $K(x)$ – критерій ефективності.

У загальному випадку альтернативи мають множину властивостей, сукупність яких однозначно характе-

ризують їхню ефективність. У програмах муніципального розвитку, які спрямовані на формування сталого розвитку міських територій, як характеристики можуть виступати показники функцій корисності, що обчислюються на основі карт кривих байдужості (*Indifference map*) (Ковтуненко, & Каверіна, 2016). Для створення систем підтримки прийняття рішень цікавим є розроблення формалізованих методів розв'язання задач багатокритеріального оцінювання на основі обчислених характеристик функцій корисності.

Огляд літератури. Дослідженню проблем математичного моделювання прийняття рішень присвячено досить багато праць вітчизняних і зарубіжних авторів. Зокрема, робота (Волонтир та ін., 2020) містить основи математичного програмування і математичного моделювання економічних процесів та ситуацій. Дослідженню методу аналізу ієрархій (MAI), який розробив американський вчений Томас Сааті (Сааті, 2005), приділяли увагу багато науковців. Зокрема, у роботах (Бадіюл, & Крамаренко, 2013; Єршова, 2015) увагу приділено застосуванню MAI в будівництві; (Євстрат, & Кушнерук, 2012) – у торгівлі, (Кульчицька, & Предко, 2018) – у поліграфії. Однак, незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, слід зазначити, що деякі завдання теоретико-методичного обґрунтування та практичного застосування MAI для вибору оптимальних альтернатив форму-

вання сталого розвитку міських територій не отримали свого остаточного визначення. Доцільним є розв'язання проблем, пов'язаних із дослідженням та аналізом програм муніципального розвитку, з урахуванням їхньої специфічності, в умовах сучасної економічної нестабільності.

Мета дослідження – розробка методики оптимізації та впорядкування альтернативних сценаріїв сталого розвитку міського середовища методом аналізу ієрархій на основі їхніх функцій корисності.

Методи

Під час проведення дослідження було використано такі наукові методи: системний аналіз для формування моделі метаболізму міського середовища; метод аналізу ієрархій для застосування багатокритеріального вибору альтернатив; метод експертних оцінок як глобальний метод визначення стану об'єкта за багатьма критеріями; методи теорії множин і теорії корисності, за допомогою функцій яких моделювались переваги прийняття відповідного рішення на множині допустимих альтернатив.

Результати

У роботах (Лященко та ін., 2021; Патракеєв та ін., 2020 а,б) запропоновано індикатор ефективності метаболізму міського середовища (ММС), який на основі 32 вхідних змінних дозволяє визначити якість міського середовища та його складових підсистем, наприклад транспортної, містобудівної та соціально-економічної підсистем. Індикатор ґрунтується на логічних правилах таким чином, щоб можна було отримати оцінку ефективності, яка масштабується в інтервалі від 0 до 100 (Патракеєв та ін., 2020а). Кінцева мета побудови індикатора ефективності ММС полягає в тому, щоб показник індикатора можна було використовувати для підтримки прийняття екологічних, містобудівних рішень, соціально-економічних рішень щодо забезпечення сталого розвитку міського середовища (МС). Сталий розвиток безпосередньо пов'язаний із сучасною концепцією "низьковуглецевого переходу" – зменшення залежності міста від використання викопних палив і перехід до використання відновлюваних джерел енергії. Це уможливить зниження негативного впливу на довкілля та покращить якість життя містян.

Процеси глобалізації та суспільних трансформацій підвищили пріоритетність збереження довкілля, а отже, потребують від світу застосування термінових заходів. Протягом тривалого часу економічний розвиток супроводжувався незбалансованою експлуатацією природних ресурсів, низькою пріоритетністю питань захисту довкілля, що унеможлилювало досягнення сталого розвитку. Екологічна політика в забезпеченні "низьковугле-

цевого" розвитку МС полягає в інвестуванні частини ВВП у збільшення частки відновлюваних джерел енергії, у "зелений" транспорт та "зелену" енергетику, у рециклінг відходів. Таким чином, зростання ВВП у поєднанні з простою "зеленою" політикою може вплинути майже на всі аспекти ММС (Патракеєв та ін., 2020а). Отримавши модель вхідних показників, можна оцінити еволюцію індикатора ефективності ММС та оптимізувати вибір альтернативних сценаріїв підтримки "низьковуглецевого" розвитку МС за обраними критеріями. Ця оптимізація полягає в підборі таких вхідних показників, які здатні максимізувати деяку об'єктивну функцію. Такою функцією може бути функція корисності (ФК) – функція, за допомогою якої можна моделювати переваги суб'єкта прийняття рішення (СПР) на множині допустимих альтернатив (Шипуліна та ін., 2017). Числові значення ФК допомагають упорядкувати альтернативи за ступенем переваги для СПР. Таким чином, завдання вибору одного з множини альтернативних сценаріїв підтримки "низьковуглецевого" розвитку МС є завданням багатокритеріального прийняття рішень (ПР) на основі обчислених числових значень ФК. У загальному випадку завдання ухвалення рішень можна представити як (Ковтуненко, & Каверіна, 2016; Кігель, 2003):

$$\langle T, A, R, X, F, G \rangle, \quad (2)$$

де T – постановка завдання (напр., вибрати найкращу альтернативу або впорядкувати весь набір); A – множина допустимих альтернативних варіантів; R – множина критеріїв вибору; X – множина методів вимірювання переваг (напр., використання різних шкал); F – відображення множини допустимих альтернатив на множину критеріальних оцінок; G – система переваг експерта.

Відповідно процедура вибору подається у вигляді моделі трьох рівнів: на верхньому рівні СПР формує мету, на середньому визначають критерії, а на нижньому рівні ухвалюють рішення про альтернативи. Методика багатокритеріального вибору альтернатив полягає в реалізації таких етапів:

- побудова матриці парних порівнянь критеріїв за ступенем важливості та оцінювання їхніх пріоритетів;
- побудова матриць парних порівнянь альтернатив у первинній вербальній шкалі оцінок і матриць-індикаторів упевненості в оцінках за окремими критеріями;
- формування матриць парних порівнянь альтернатив за шкалою Сааті.

У табл. 1 показано три гіпотетичні сценарії забезпечення "низьковуглецевого" розвитку міського середовища.

Таблиця 1

Сценарії забезпечення "низьковуглецевого" розвитку міського середовища

Порядковий номер альтернативи	Зміст альтернативи
Альтернатива 1	Сценарій збільшення частки відновлювальних джерел енергії у структурі енергоспоживання міста
Альтернатива 2	Сценарій збільшення частки перероблюваних відходів у структурі міського господарства
Альтернатива 3	Сценарій комплексного розвитку низьковуглецевого транспорту міста

Першим етапом розв'язання проблеми багатокритеріального вибору є подання завдання у вигляді ієрархії, що містить постановку завдання, критерії для оціню-

вання альтернатив та самі альтернативи розв'язання завдання, з яких надалі здійснюють вибір (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема ієрархії щодо оцінювання вибору альтернатив

Альтернативи – це варіанти рішень, які мають бути ухвалені. Альтернативи є невід’ємною частиною процесу прийняття рішень. *Критерії* – засіб опису альтернативних варіантів рішень, засіб відображення відмінностей між ними з погляду вподобань СПР. Критерії мають бути вимірюваними для всіх альтернатив та простими. Як видно з рис. 1, вибір альтернатив виконується за такими критеріями: максимальне значення функції корисності, загальна кількість корисності, значення граничної корисності, мінімальне значення функції корисності.

Розглянемо застосування індексу ефективності метаболізму для вибору оптимальної альтернативи щодо забезпечення "низьковуглецевого" розвитку міського

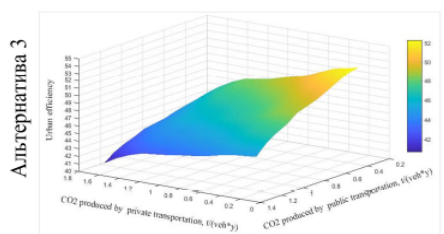
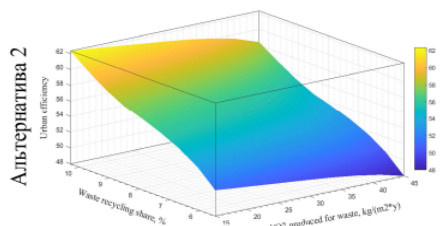
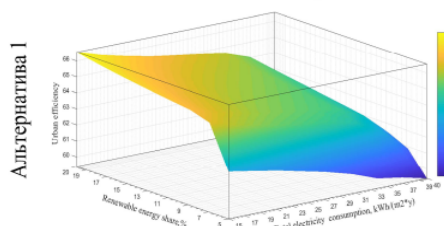
середовища. На рис. 2 наведено результати досліджень, які опубліковані в роботах (Лященко та ін., 2021; Патракеєв та ін., 2020а) і показують реакцію індексу метаболізму міського середовища на зміни:

а) викидів CO_2 від громадського та приватного автотранспорту, що є одним з основних джерел забруднення повітря;

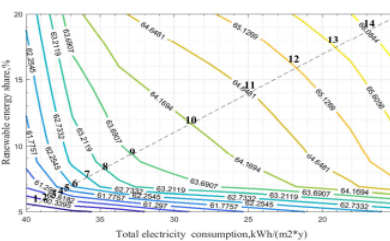
б) частки відходів життєдіяльності населення, що перероблюються, і викидів парникових газів, вимірюваних у CO_2 -еквіваленті;

в) частки відновлюваної та загальної кількості енергії, що споживається в енергетичній структурі міста.

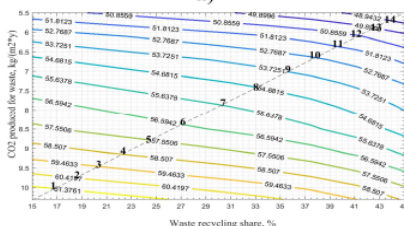
Залежність ефективності MMC від двох змінних для кожної з альтернатив



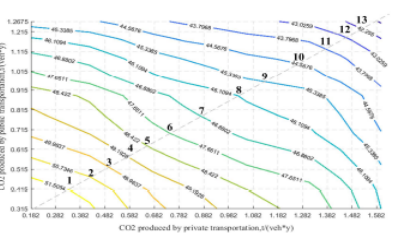
Карти кривих байдужості



а)



б)



в)

Графіки функцій корисності альтернатив

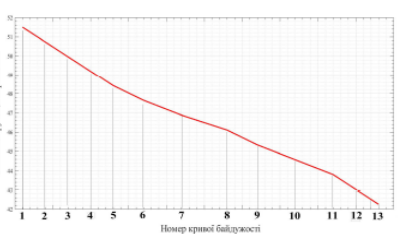
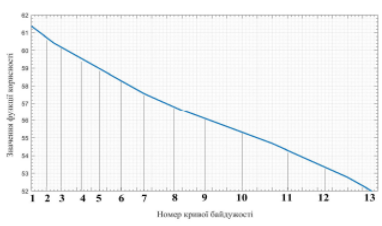
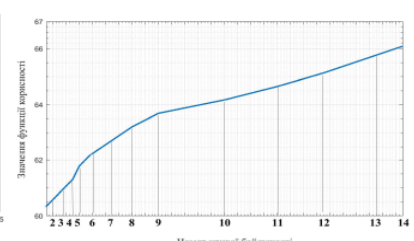


Рис. 2. Графіки реакції індексу MMC у просторі двох показників, відповідні карти байдужості та побудовані функції корисності для кожної альтернативи

Отримані поверхні можна інтерпретувати як ландшафт ефективності MMC для сценарію, який показує

зміни лише двох показників. Побудовані карти байдужості подають також ландшафт ефективності MMC, але у

вигляді контурних ліній. Ефективність ММС залишається постійною, якщо рухатись уздовж контурної лінії ландшафту. Максимальний приріст ефективності відбувається, якщо рухатись в ортогональному напрямку до кривих байдужості. Карти кривих байдужості дозволили

побудувати й обчислити характеристики функцій корисності для кожної з розглянутих альтернатив (табл. 2). Методику побудови функцій корисності за картами байдужості досить ретельно розглянуто в роботах (Бадюл, & Крамаренко, 2013; Єршова, 2015).

Таблиця 2

Обчислені характеристики функцій корисності альтернатив

Номер альтернативи	max функції корисності	Повна похідна функції корисності	Загальна корисність	min функції корисності
A1	66,0844	0,2451	263,640	58,409
A2	61,3761	0,2056	206,580	48,943
A3	51,5054	0,1875	303,760	42,255

Обчислення локальних векторів пріоритетів критеріїв. Скориставшись методом Сааті для розв'язання завдання вибору оптимальної альтернативи (Сааті, 2005), необхідно визначити потенційні вигоди на основі характеристик побудованих функцій корисності та встановити пріоритети критеріїв. Із цією метою будують матриці

парних порівнянь $A = a_{ij}$. Елемент a_{ij} матриці парних порівнянь є результатом вимірювання за функціональною шкалою ступеня переваги альтернативи A_i щодо альтернативи A_j . Порівняння елементів матриць парних порівнянь здійснюється за фундаментальною шкалою відносної важливості (табл. 3).

Таблиця 3

Шкала відносної важливості

Найменування рівня важливості	Кількісне значення
Однакова важливість	1
Помірна перевага	3
Істотна перевага	5
Значна перевага	7
Дуже велика перевага	9
2, 4, 5, 6, 8 – проміжні ступені переваги	

Обчислення елементів матриці парних порівнянь критеріїв. Для заповнення матриці парних порівнянь достатньо визначити елементи, які розташовані на головній діагоналі матриці. Елементи під діагоналлю згідно з властивістю зворотної симетричності матриці обчислю-

ють за формулою $k_{ij} = 1/k_{ji}$. Спочатку будується матриця парних порівнянь для критеріїв, які застосовані в ієрархії (табл. 4).

Таблиця 4

Матриця парних порівнянь критеріїв

Критерії	Max функції корисності K1	Повна похідна функції корисності K2	Загальна корисність K3	Min функції корисності K4	D_{ij}	$v_{ij} = \sqrt[n]{D_{ij}}$	w_{K_j}
Max функції корисності K1	1	2	3	7	42,00	2,546	0,428
Повна похідна функції корисності K2	1/2	1	5	6	15,00	1,968	0,331
Загальна корисність K3	1/3	1/5	1	7	0,47	0,827	0,139
Min функції корисності K4	1/7	1/6	1/7	1	0,14	0,612	0,103
						5,952	1

Наприклад, значення на перетині рядка 2 і стовпчика 3, що дорівнює 2, свідчить про помірну перевагу максимального значення ФК порівняно з її повною похідною. Відповідно повна похідна має помірне значення відповідно до максимального значення ФК, тому на перетині 1-го стовпчика та другого рядка розташовано 1/2. Розрахунок локальних векторів пріоритетів критеріїв проводиться таким чином:

• обчислюється добуток визначених експертами значень відносної важливості для кожного критерія за формулою

$$D_{ij} = \prod_{j=1}^4 k_{ij}, \quad (3)$$

де $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4}$;

• обчислюються компоненти власного вектора пріоритетів як геометричне середнє для кожного рядка матриці попарних порівнянь критеріїв за формулою

$$v_{ij} = \sqrt[n]{D_{ij}} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^4 k_{ij}}, \quad (4)$$

де $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4}, n = 4$;

• для обчислення нормалізованих векторів локальних пріоритетів необхідно підсумок геометричного середнього кожного рядка матриці розділити на середнє геометричне кожного з рядків матриці на цю суму

$$w_{K_j} = \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^4 k_{ij}} \right) / \left(\sum_{i=1}^4 v_{ij} \right). \quad (5)$$

Аналіз змісту табл. 4 дає можливість зробити висновок про те, що найбільш значущим критерієм під час вибору альтернатив є критерій максимального значення функції корисності.

Обчислення локальних векторів пріоритетів альтернатив за кожним критерієм ієрархії. На цьому

етапі послідовно обчислюються локальні вектори пріоритетів і перевіряється узгодженість результатів кожного елемента ієрархії. Для ієрархічної структури, поданої на рис. 1 із 4 критеріїв та 3 альтернатив загалом було побудовано 4 матриці парних порівнянь (дорівнює кількості критеріїв). Отримані розрахунки подано в табл. 5–8.

Таблиця 5

max функцій корисності

K1	A1	A2	A3	D_{ij}	$v_{ij} = \sqrt[3]{D_{ij}}$	w_{K_j}
A1	1	5	7	35,00	3,27	0,74
A2	1/5	1	2	0,40	0,74	0,17
A3	1/7	1/2	1	0,07	0,41	0,09
					4,42	1

Таблиця 6

Повна похідна функцій корисності

K2	A1	A2	A3	D_{ij}	$v_{ij} = \sqrt[3]{D_{ij}}$	w_{K_j}
A1	1	2	5	10,00	2,15	0,61
A2	1/2	1	3	1,50	1,00	0,28
A3	1/5	1/3	1	0,07	0,41	0,11
					3,56	1

Таблиця 7

Загальна корисність (Total utility)

K3	A1	A2	A3	D_{ij}	$v_{ij} = \sqrt[3]{D_{ij}}$	w_{K_j}
A1	1	5	3	15,00	2,47	0,64
A2	1/2	1	3	1,50	0,41	0,10
A3	1/3	1/3	1	0,99	1,00	0,26
					3,87	1

Таблиця 8

min функцій корисності

K4	A1	A2	A3	D_{ij}	$v_{ij} = \sqrt[3]{D_{ij}}$	w_{K_j}
A1	1	2	5	10,00	2,15	0,56
A2	1/2	1	5	2,50	1,36	0,35
A3	1/5	1/5	1	0,04	0,34	0,09
					3,85	1

Індекс узгодженості суджень експертів у всіх таблицях дорівнює 1, що задовольняє вимоги до величини випадкового вибору кількісних суджень. Узгодженість для випадкових матриць різного порядку наведено в

табл. 9. Аналіз змісту таблиць показує, що найбільшим пріоритетом за кожним із розглянутих критеріїв має перша альтернатива.

Таблиця 9

Узгодженість випадкових матриць

Розмір матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значення випадкової узгодженості	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,42	1,49

Розрахунок глобальних пріоритетів для всієї ієрархії в сукупності. Локальні пріоритети альтернатив множать на пріоритети відповідних критеріїв та підсумовують за кожним елементом відповідно до критеріїв. У результаті визначаються глобальні пріоритети альтер-

натив з урахуванням пріоритетів критеріїв. Найвищий рейтинг відповідатиме альтернативі з найбільшим значенням глобального пріоритету. Розрахунок векторів глобальних пріоритетів наведено в табл. 10.

Таблиця 10

Вектори глобальних пріоритетів

w_{K_j}	42,80	0,331	0,139	0,103	
	$v_{A_{ij}}^{K_1}$	$v_{A_{ij}}^{K_2}$	$v_{A_{ij}}^{K_3}$	$v_{A_{ij}}^{K_4}$	Глобальний пріоритет альтернатив
A1	0,74	0,61	0,64	0,56	0,686
A2	0,17	0,28	0,10	0,35	0,196
A3	0,09	0,11	0,26	0,09	0,116

Порівнюючи отримані значення глобальних пріоритетів альтернатив, маємо визначити їхні рейтинги. У наведеному прикладі найбільший пріоритет 0,686 виявився в

альтернативи 1, яка реалізує сценарій збільшення частки відновлювальних джерел енергії у структурі енергоспоживання міста (рис. 3).

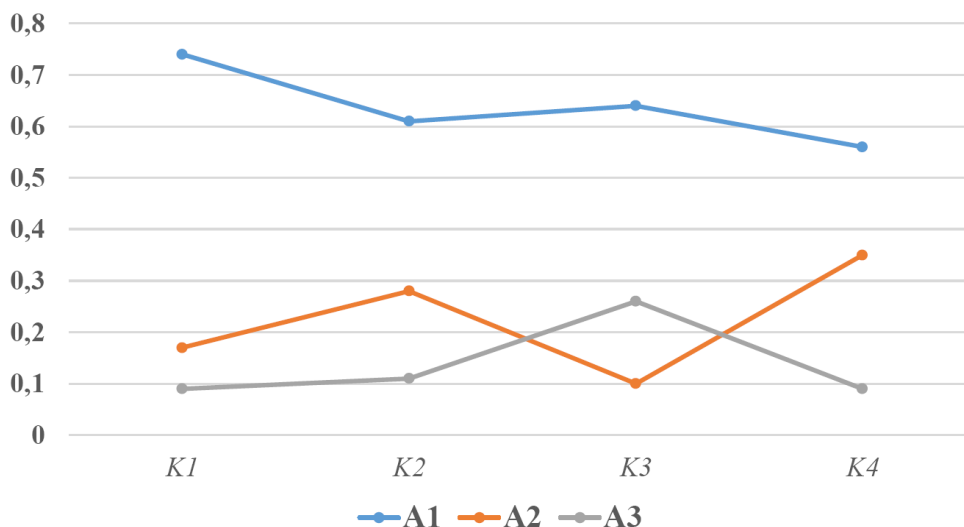


Рис. 3. Графік пріоритетності альтернатив

Дискусія і висновки

Метод аналізу ієрархій сьогодні є одним із популярних підходів для розв'язання складних проблем, які потребують застосування ряду критеріїв. У цій роботі представлено синтез методу аналізу ієрархій та теорії корисності. На основі отриманих експериментальних даних побудовано карти кривих байдужості, які дають змогу, спираючись на методики теорії корисності, сформувати й обчислити основні характеристики функції корисності. Така методика є адаптивною і може застосовуватися як самостійно, так і в поєднанні з іншими інструментами для розв'язання проблем, пов'язаних із вибором оптимальних альтернатив у програмах сталого муніципального розвитку.

Отже, застосовуючи синтез МАІ та теорії корисності, можна отримати інформацію, достатню для вибору найкращої доступної альтернативи. Показано, що найоптимальнішою та найефективнішою за обраними критеріями є альтернатива 1, яка передбачає сценарій забезпечення збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальній структурі енергоспоживання міста. Застосування отриманих результатів дає змогу зацікавленим сторонам використовувати синтез МАІ та теорії корисності для розв'язання складних проблем просування сталого розвитку в різних сферах діяльності міського господарства. Зрештою, проведене дослідження закладає підґрунтя для додаткових досліджень і застосування методології аналізу ієрархій та теорії корисності в досягненні цілей сталого розвитку урбанізованих територій у прогностичних моделях воєнно-географічного аналізу.

Внесок авторів: Олексій Міхно – формальний аналіз, написання (перегляд і редагування); Ігор Патракеєв – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка); Наталія Левінська – програмне забезпечення, валідація даних.

Список використаних джерел

Бадюл, М.Г. & Крамаренко, В.А. (2013). Застосування методу аналізу ієрархій у проектуванні та будівництві. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. Вип. 70, С. 27–35.

Волонтир, Л.О., Потапова, Н.А., Ушкаленко, І.М. & Чіков, І.А. (2020). *Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності*. Вінницький національний аграрний університет, ВНАУ, 404 с.

Євстрат, Д.І., & Кушнерук, Ю.І. (2012). Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки маркетингової активності торговельних підприємств. *Проблеми економіки*, № 2, С. 66–71.

Єршова, Н.М. (2015). Принятие решений на основе метода анализа иерархий. *Вісник Придніпровської держ. акад. буд-ва і архітектури*, 9(210), 39–45.

Кігель, В.Р. (2003). *Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці*. ЦУЛ.

Ковтуненко, Ю.В. & Каверіна, С.Ю. (2016). Методичний інструментарій оцінки інтелектуального капіталу інноваційного розвитку підприємства. *Економіка та суспільство*, № 2, С. 286–291.

Кульчицька, Х.Б. & Предко, Л.С. (2018). Застосування методу аналізу ієрархій при виборі проекту в поліграфії. *Поліграфія і видавнича справа*, № 1, С. 51–60.

Шипуліна, Ю.С., Ілляшенко, Н.С., & Комарницька, Г.О. (2017). Управління знаннями в системі інноваційного розвитку організації. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, № 1, С. 231–241.

Lyashchenko, A., Patrakeyev, I., Ziborov, V., Datsenko, L. & Mikhno, O. (2021). Assessment and management of urban environmental quality in the context of inspire requirements. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 16(2), 55–71.

Patrakeyev, I., Ziborov, V., & Mikhno, O. (2020a). Intelligent technology for estimation of urban environment quality. *Geographia Technica*, 15(2), 147–160.

Patrakeyev, I., Ziborov, V., & Mikhno, O. (2020b). Estimation of metabolic flows of urban environment based on fuzzy expert knowledge. *Geodesy and Cartography (Vilnius)*, 46(1), 8–16.

Saaty, T.L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process*. RWS Publications.

References

Badyul, M.G., & Kramarenko, V.A. (2013). Application of the method of analysis of hierarchies in design and construction. *Construction, materials science, mechanical engineering*, Vol. 70, pp. 27–35 [In Ukrainian].

Kigel, V.R. (2003). *Methods and models of decision support in the market economy*. TSUL. 202 p. [In Ukrainian].

Kovtunen, Yu.V. & Kaverina, S.Yu. (2016). Methodical toolkit for evaluating the intellectual capital of the innovative development of the enterprise. *Economy and society*, No. 2, pp. 286–291 [In Ukrainian].

Kulchytska, H.B., & Predko, L.S. (2018). Application of the method of analysis of hierarchies when choosing a project in printing. *Printing and publishing*, No. 1. pp. 51–60 [In Ukrainian].

Lyashchenko, A., Patrakeyev, I., Ziborov, V., Datsenko, L. & Mikhno, O. (2021). Assessment and management of urban environmental quality in the context of inspire requirements. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 16(2), pp. 55–71.

Patrakeyev, I., Ziborov, V. & Mikhno, O. (2020a). Intelligent technology for estimation of urban environment quality. *Geographia Technica*, 15(2), pp. 147–160.

Patrakeyev, I., Ziborov, V. & Mikhno, O. (2020b). Estimation of metabolic flows of urban environment based on fuzzy expert knowledge. *Geodesy and Cartography (Vilnius)*, 46(1), 8–16.

Saaty, T.L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process*. RWS Publications.

Shipulina, Yu.S., Ilyashenko, N.S., & Komarnytska, G.O. (2017). Knowledge management in the system of innovative development of the organization. *Marketing and innovation management*, No. 1, pp. 231–241 [In Ukrainian].

Volontyr, L.O., Potapova, N.A., Ushkalenko, I.M., & Chikov, I.A. (2020). *Optimization Methods and Models in Entrepreneurship*. Vinnytsia National Agrarian University, VNAU, 404 p. [In Ukrainian].

Yershova, N.M. (2015). Decision-making based on the hierarchical analysis method. *Herald of the Prydniprovsk State. Acad. buildings and architecture*, 9(210), 39–45 [In Ukrainian].

Yevstrat, D.I., & Kushneruk, Yu.I. (2012). Application of the method of analysis of hierarchies to evaluate the marketing activity of trade enterprises. *Problems of the economy*, No. 2. 66–71 [In Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 20.11.23

Прорецензовано / Revised: 04.12.23

Схвалено до друку / Accepted: 08.12.23

Oleksii MIKHNO, PhD (Engin.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0003-4994-2405

e-mail: almikhno@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Igor PATRAKEYEV, PhD (Engin.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0002-0448-8790

e-mail: ipatr@ukr.net

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Natalia LEVINSKOVA, Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0002-2532-2925

e-mail: levinskova@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

MULTI-CRITERIA CHOICE OF ALTERNATIVES BASED ON HIERARCHY ANALYSIS METHOD

Background. When conducting descriptions of territories of a neighboring unfriendly state, as a rule, valid information about the development of such territories is hidden. Therefore, it is necessary to use the prognostic apparatus of expert evaluations based on information obtained from open sources. The article examines the basis of the military-geographical analysis of urbanized territories from the point of view of the application of expert assessments for many criteria. With a large number of options for prognostic decision-making, the question of choosing an alternative (decision option) should be fully justified. For such cases, it is advisable to use ranking based on the method of analysis of hierarchical structures. The purpose of such a description is to increase the validity of the decisions made during the selection of the optimal alternative by creating instrumental means of formalized evaluation of experts' judgments.

Methods. The following methods were used: system analysis in the formation of the urban environment metabolism model; the method of analyzing hierarchies when applying multi-criteria selection of alternatives; the method of expert evaluations as a global method of the condition determining of the object according to many criteria; methods of theory of sets and theory of utility, with the help of functions of which the advantages of making the appropriate decision on a set of acceptable alternatives were modeled.

Results. From the proposed alternatives, based on the obtained utility functions, the most optimal alternative, in the opinion of experts, was chosen, which can be used during the planning of measures to ensure the sustainable development of the urban environment. The calculated characteristics of utility functions are used as criteria for choosing the optimal alternative. The proposed criteria and alternatives are presented in the form of a hierarchy.

Conclusions. The article lays the groundwork for additional research and application of the methodology of analysis of hierarchies and the theory of utility in achieving the goals of sustainable development of urban areas in prognostic models of military-geographical analysis.

Keywords: military-geographical analysis, expert evaluation, theory of utility, analysis of hierarchies, system analysis.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.