

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.7.409-424

УДК 504.064.36

докт. техн. наук, професор **Лященко А.А.**,
l_an@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6724-8092,канд. техн. наук, доцент **Патракеєв І.М.**,
ipatr@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0448-8790,канд. техн. наук, доцент **Зіборов В.В.**,
ziborov@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4397-1782,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПІДВИЩЕННЯ ОБҐРУНТОВАНOSTІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ НА ОСНОВІ ФУНКЦІЙ КОРИСНОСТІ

Запропонований підхід для аналізу та вибору альтернатив на основі функцій корисності є розвитком методу аналізу ієрархії (MAI), розробленого Т. Сааті. Метод передбачає аналіз заданих альтернатив шляхом комбінації методу аналізу ієрархії та методу побудови функції корисності на основі отриманих карт ізоквант у просторі вхідних даних. Метод може використовуватися для довільного числа заданих альтернатив. В такому разі видається доцільним спрямувати зусилля особи, яка приймає рішення (ОПР), на порівняння не тільки заданих альтернатив, а й розширити можливості щодо прийняття рішень.

Продемонстровано вибір та впорядкування можливих альтернатив із застосуванням запропонованого методу на прикладі вибору сценаріїв зменшення залежності міст від використання викопного палива та переходу до використання відновлюваних джерел енергії. В якості критеріїв для аналізу та вибору оптимальної альтернативи використовуються обчислені характеристики функцій корисності. Запропоновані критерії та альтернативи подано у вигляді ієрархічної структури. Результати отримані на основі взаємодії програмних продуктів Matlab та Excel.

Ключові слова: експертна оцінка; аналіз ієрархій; матриця парних порівнянь; функція корисності; прийняття рішень.

Постановка проблеми. Сталий розвиток міста спрямований на збереження та поліпшення якості природних ресурсів, а також на зменшення негативного впливу на довкілля. Сталий розвиток міського середовища (МС) безпосередньо пов'язаний з сучасною концепцією "низьковуглецевого переходу" — зменшення залежності міста від використання викопних палив та

перехід до використання відновлюваних джерел енергії. Це дає змогу знизити негативний вплив на довкілля та покращити якість життя містян.

Сталий розвиток міста передбачає забезпечення високої ефективності метаболізму міського середовища (ММС). Відновлення України має бути спрямовано на розроблення Smart-стратегій, що означає інвестування в гнучкі виробничі потужності та інфраструктуру (екологічно чистий транспорт, використання поновлюваних джерел енергії, поліпшення системи утилізації відходів, інші технології створення низьковуглецевого ланцюжка доданої вартості та експорту) [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В дослідженнях [9, 10, 11] пропонується індикатор ефективності ММС який на основі 32 вхідних змінних дозволяє визначити якість МС та його складових підсистем, наприклад транспортної, містобудівної та соціально-економічної підсистем МС. Індикатор ґрунтується на логічних правилах які дають можливість забезпечити оцінювання ефективності ММС в інтервалі від 0 до 100 [10]. Метою побудови індикатора ефективності ММС є використання індикатора як інструментарію підтримки прийняття екологічних, містобудівних та соціально-економічних рішень щодо забезпечення сталого розвитку МС.

Отримавши модель вхідних показників, можна оцінити еволюцію індикатора ефективності ММС та оптимізувати вибір альтернативних сценаріїв підтримки "низьковуглецевого" розвитку МС за обраними критеріями. Така 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 ОПР на множині допустимих альтернатив. Числові значення ФК допомагають упорядкувати альтернативи за ступенем переваги для ОПР. Таким чином, завдання вибору оптимального з множини альтернативних сценаріїв та ранжирування таких сценаріїв підтримки "низьковуглецевого" розвитку МС є завданням багатокритеріального прийняття рішень (БПР).

Метою публікації є розробка методики обґрунтування, вибору та впорядкування альтернативних сценаріїв зменшення залежності міст від використання викопного палива та переходу до використання відновлюваних джерел енергії на основі синтезу метода аналізу ієрархій та теорії корисності.

Основна частина. В загальному випадку завдання ухвалення рішень може бути подано у вигляді структурної схеми на рис. 1.

Альтернатива — це варіант схвалюваних рішень. Альтернативи є невід'ємною частиною процесу прийняття рішень.

Критерії — засіб опису альтернативних варіантів рішень, засіб відображення відмінностей між ними з точки зору переваг ОПР.

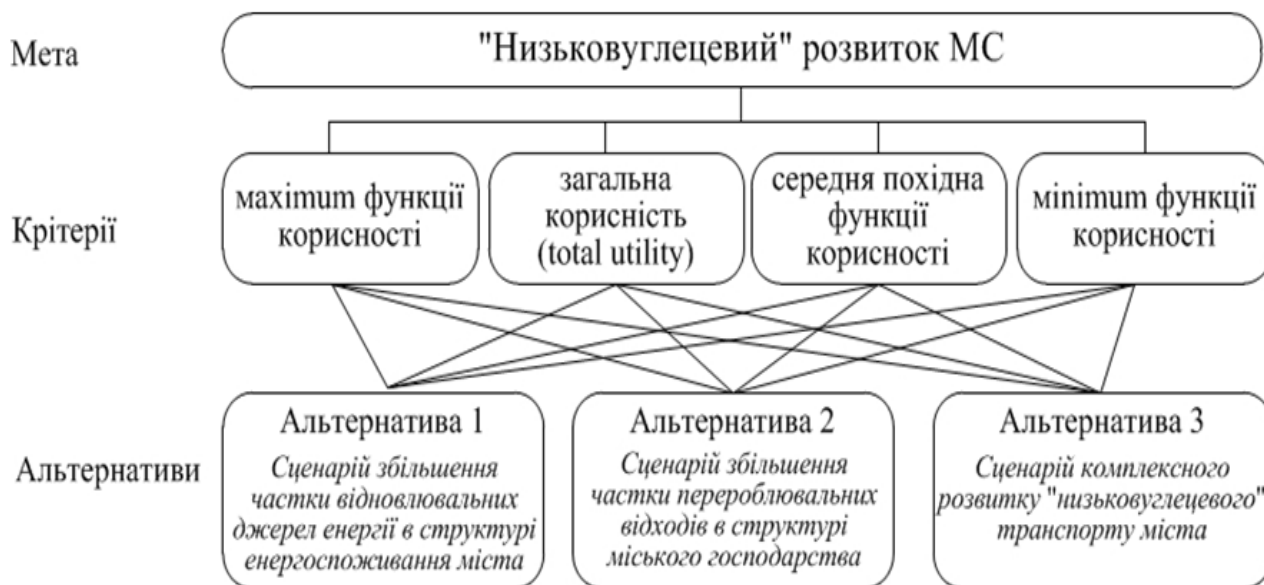


Рис. 1. Структурна схема ієрархії щодо ранжирування та вибору оптимальної альтернативи

Критерії мають бути вимірюваними для всіх альтернатив та бути простими. Як показано на рис. 1, вибір альтернатив виконується за такими критеріями: максимальне значення функції корисності, загальна кількість корисності, значення граничної корисності, мінімальне значення функції корисності.

З формальної точки зору завдання прийняття рішень може бути подано у вигляді шести множин [7, 2]:

$$\langle T, A, K, X, F, G \rangle,$$

де T — множина завдань (наприклад, вибрати найкращу альтернативу або впорядкувати весь набір альтернатив);

A — множина допустимих альтернативних варіантів;

K — множина критеріїв вибору;

X — множина методів вимірювання переваг (наприклад, використання різних шкал);

F — відображення множини допустимих альтернатив у множину критеріальних оцінок: $F: A \rightarrow K$

G — множина переваг експертів.

Завдання досягнення поставленої мети включає множину альтернативних варіантів розвитку $A = \{A_1, \dots, A_n\}$, які виникають в ході прийняття одного з можливих управлінських рішень. Альтернативи оцінюються за допомогою критеріїв k_1, \dots, k_m з множини K . Таким чином, кожній альтернативі A_i відповідає вектор \vec{a} в n -вимірному просторі, координатами якого є значення критеріїв k_1, \dots, k_n для цієї альтернативи (векторна оцінка альтернатив). Для

кожного критерію k_j можливо побудувати ранжування P_j альтернатив з множини A : $aP_j b$ — якщо альтернатива a краще альтернативи b за критерієм k_j .

Нині існує кілька методів оцінювання альтернатив, які доцільно використовувати під час побудови ранжирування (метод парних порівнянь, критерій Парето, мінімаксий критерій та інші). З усіх методів найбільш зручним для практичного застосування є метод парних порівнянь (метод Т. Сааті [12]). При багатофакторному аналізі числові значення *функції корисності* допомагають упорядкувати альтернативи за ступенем переваги для ОПР.

Побудова порядкової функції корисності на основі переваг ОПР. Розглянемо застосування індексу ефективності ММС для вибору оптимальної альтернативи щодо забезпечення "низьковуглецевого" розвитку МС. На рис. 2 подано результати досліджень, які опубліковані в роботах [10, 11] та які ілюструють реакцію індексу ММС на зміну таких вхідних показників як:

- а) викидів CO_2 від громадського та приватного автотранспорту, що є одним з основних джерел забруднення повітря;
- б) частки перероблюваних відходів життєдіяльності населення та викидів парникових газів, вимірюваних в CO_2 -еквіваленті;
- в) частки відновлюваної та загальною кількістю споживаної енергії в енергетичній структурі міста.

Отримані поверхні можна інтерпретувати як ландшафт ефективності ММС для сценарію, який показує зміну лише двох показників. Побудовані карти ізоквант подають також ландшафт ефективності ММС але у вигляді контурних ліній. Ефективність ММС остається постійною, якщо рухатися уздовж контурної лінії ландшафту. Максимальне приріст ефективності відбувається, якщо рухатися у напрямку ортогональному до кривих контурних ліній.

Функція корисності (ФК) — це такий спосіб приписування кожній можливій перевазі особи, яка приймає рішення (ОПР), деякого числового значення, за яким більшим перевагам приписують більші числові значення, ніж меншим [8]. Наприклад, набору ресурсів (x_1, x_2) надається перевага ОПР над набором (y_1, y_2) тільки в тому випадку, якщо корисність набору ресурсів (x_1, x_2) більша за корисність набору (y_1, y_2) :

$$(x_1, x_2) \succ (y_1, y_2) \equiv u(x_1, x_2) > u(y_1, y_2).$$

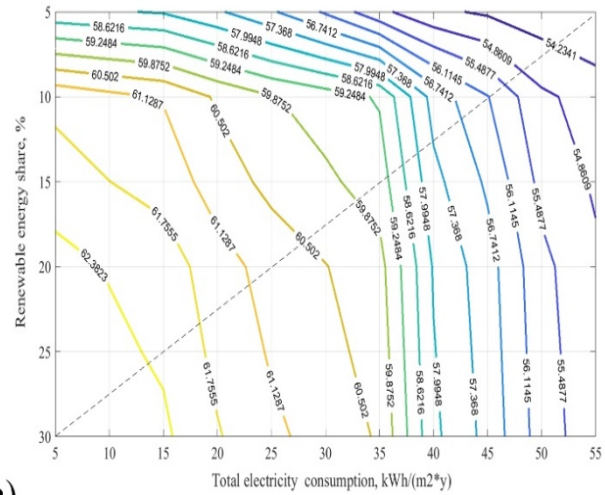
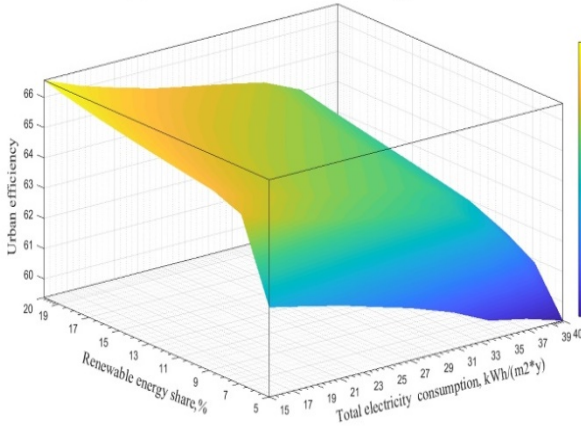
Розглянемо карту ізоквант, яка показана на рис.3 а). *Ізокванта* — це геометричне місце точок в просторі змінних, для яких ФК має однакові значення. Одним з простих способів побудови ФК є позначити кожному ізокванту числом, яке відповідає її відстані, виміряній уздовж діагоналі. Такий підхід

справедливий для випадку монотонних переваг ОПР [4]. Побудована функція корисності на основі карти ізоквант в просторі двох змінних *Renewable energy & Total electricity consumption* показана на рис.3 б).

Залежність ефективності ММС від двох змінних для кожної з альтернатив

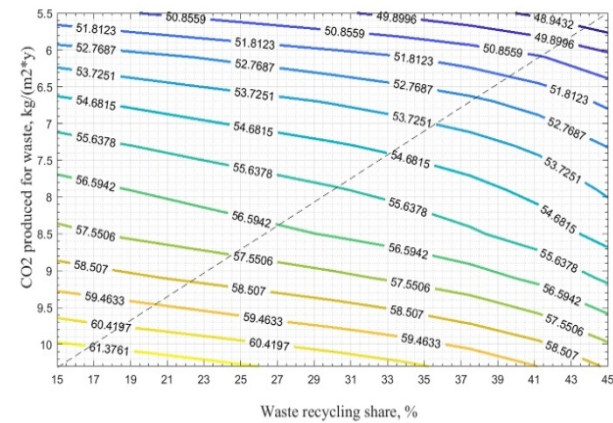
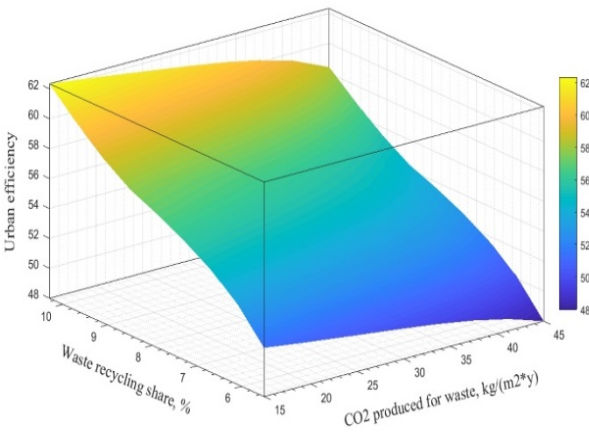
Карти кривих ізоквант

Альтернатива 1



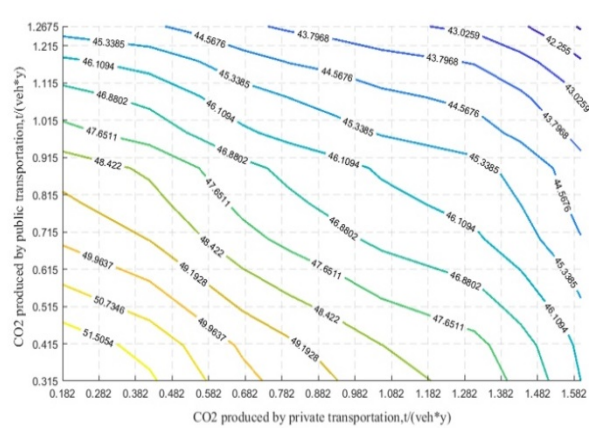
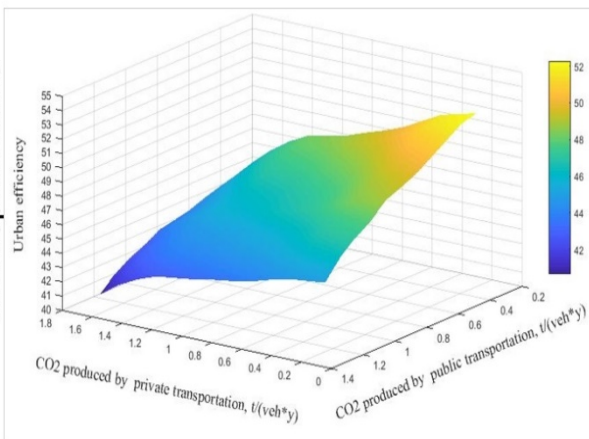
а)

Альтернатива 2



б)

Альтернатива 3



в)

Рис. 2. Профілі альтернатив, отримані при оцінюванні індексу ефективності ММС в просторі вхідних змінних.

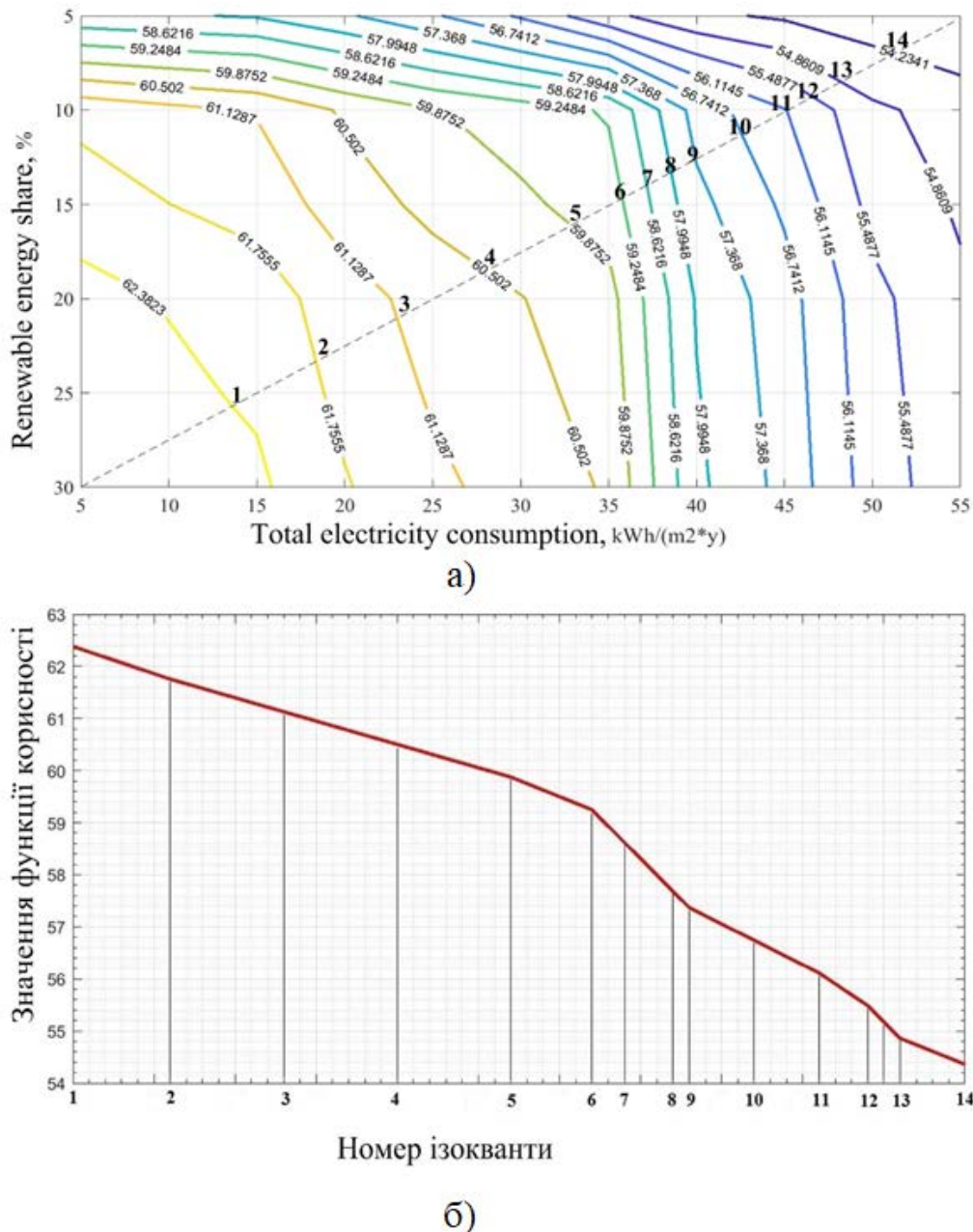


Рис. 3. Приклад побудованої функції корисності б) на основі карти ізоквант а) для двох змінних: *Renewable energy* & *Total electricity consumption*.

Оцінювання багатокритеріальних альтернатив на основі характеристик функцій корисності. Функція корисності дозволяє визначити переваги ОПР на множині допустимих альтернатив, а обчислені значення функції допомагають упорядкувати такі альтернативи за ступенем переваги для ОПР. В статті використовується кардиналістичний підхід при оцінюванні корисності.

– *maximim* функції корисності: це точка на графіку, в якій функція корисності досягає свого максимального значення в просторі заданих змінних;

– *minimim* функції корисності: це точка на графіку, в якій функція корисності досягає свого мінімального значення в просторі заданих змінних;

– загальна корисність (*total utility*) є вся корисність, яку отримує ОПР за умови зміни незалежних аргументів. Загальна корисність характеризує підсумок всіх граничних корисностей:

$$\int_a^b u(x)dx \approx h \cdot \left[\frac{u(x_0)+u(x_n)}{2} + u(x_1) + u(x_2) + \dots + u(x_{n-1}) \right],$$

де $h = \frac{(b-a)}{n}$ — довжина кожного кроку інтегрування;

$u(x)$ — значення підінтегральної функції в точках $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$.

– середня похідна функції характеризує швидкість зміни функції корисності:

$$\langle u'(x) \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{u(x_{i+1}) - u(x_i)}{h_i} \right)}{k},$$

де h_i — крок диференціювання;

k — кількість інтервалів диференціювання.

Крок 1. Скориставшись методом Т.Сааті [12] для розв'язання завдання вибору оптимальної альтернативи, необхідно визначити потенційні вигоди на основі обчислених характеристик побудованих ФК (таблиця 1) та встановити пріоритети між обраними критеріями.

Таблиця 1

Обчислені характеристики функцій корисності альтернатив

Номер альтернативи	Мах функції корисності	Повна похідна функції корисності	Загальна корисність	Мін 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

Числа з шкали відносної важливості (табл.2) використовуються, щоб показати, у скільки разів елемент із більшим значенням (оцінкою) домінує над елементом із меншим значенням (оцінкою) щодо спільного для них критерію. Менш переважний елемент має зворотну оцінку переважності. Таким чином, якщо x — оцінювання переваги, з якою більший елемент домінує над меншим, то $1/x$ — оцінювання переваги меншого елемента порівняно з більшим. З цією метою будуються матриці парних порівнянь $E = e_{ij}$. Елемент e_{ij} матриці

парних порівнянь є результатом вимірювання за фундаментальною шкалою ступеня переважності елемента e_i щодо альтернативи e_j .

Таблиця 2

Шкала відносної важливості (Scale of relative importance)

Ступінь важливості (<i>Degree of importance</i>)	Числове значення (<i>Numerical value</i>)
Рівна важливість	1
Помірна перевага	3
Істотна перевага	5
Значна перевага	7
Дуже велика перевага	9
Необхідний компроміс	2, 4, 6, 8

Крок 2. Визначення векторів пріоритетів для критеріїв та альтернатив. Після визначення суб'єктивних суджень експертів, необхідно виконати розрахунок векторів пріоритетів, які визначають відносний вплив між критеріями. Вирази для розрахунку компонентів власного вектору та нормалізованого вектору пріоритетів для кожного критерію подано у вигляді формул (1) і (2):

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

$$w_{K_i} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n k_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}}, \quad (2)$$

де n — кількість критеріїв, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$.

В результаті обчислення матриці попарних порівнянь визначається нормалізований вектор пріоритетів критеріїв:

$$[W_{K_i}]^T = [w_{K_1}, w_{K_2}, \dots, w_{K_{i+1}}, \dots, w_{K_n}].$$

Отримані нормалізовані вектори пріоритетів використовуються у подальшому при синтезу глобальних пріоритетів альтернатив. В таб.3 подано розрахунки відповідних векторів пріоритету для кожного критерію згідно з виразами (1) та (2).

Матриця попарних порівнянь критеріїв

Таблиця 3.

	0	1	2	3	4	6	7
0 Критерії		<i>Maximum</i> функції корисності K_1	Середня похідна функції корисності K_2	Загальна корисність (total utility) K_3	<i>Minimum</i> функції корисності K_4	$k_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n k_{ij}}$	$w_{K_i} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n k_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}}$
1	<i>Maximum</i> функції корисності K_1	1	2	3	7	2,540	1,28
2	Середня похідна функції корисності K_2	1/2	1	5	6	1,960	0,58
3	Загальна корисність (total utility) K_3	1/3	1/5	1	7	1,460	0,15
4	<i>Minimum</i> функції корисності K_4	1/7	1/6	1/7	1	0,030	0,001

Вирази для розрахунку компонентів власного вектору та нормалізованого вектору пріоритетів альтернатив за кожним критерієм подано у вигляді формул (3) і (4):

$$a_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}, \tag{3}$$

$$v_{A_i} = \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}}, \tag{4}$$

де m — кількість альтернатив, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$.

В результаті обробки матриць попарних порівнянь визначаються нормалізовані вектори пріоритетів альтернатив за кожним критерієм:

$$V_{A_i}^{K_j} = \begin{bmatrix} v_{A_1}^{K_1} & v_{A_1}^{K_2} & \dots & v_{A_1}^{K_{j+1}} & \dots & v_{A_1}^{K_n} \\ v_{A_2}^{K_1} & v_{A_2}^{K_2} & \dots & v_{A_2}^{K_{j+1}} & \dots & v_{A_2}^{K_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{A_{i+1}}^{K_1} & v_{A_{i+1}}^{K_2} & \dots & v_{A_{i+1}}^{K_{j+1}} & \dots & v_{A_{i+1}}^{K_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{A_m}^{K_1} & v_{A_m}^{K_2} & \dots & v_{A_m}^{K_{j+1}} & \dots & v_{A_m}^{K_n} \end{bmatrix}$$

Отримана матриця пріоритетів використовується у подальшому при синтезу глобальних пріоритетів альтернатив. В таблицях 4–7 подано розрахунки відповідних векторів пріоритетів для кожної альтернативи за критеріями відповідно до виразу (3) та (4).

Максимум функції корисності Таблиця 4

Максимум функції корисності K_1	A_1	A_2	A_3	$a_i = \sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}$	$v_{A_i} = \frac{\sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}}$
A_1	1	5	7	2,46	1,83
A_2	1/5	1	2	0,74	0,11
A_3	1/7	1/2	1	0,04	0,04

Средня похідна функції корисності Таблиця 5

Средня похідна функції корисності K_2	A_1	A_2	A_3	$a_i = \sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}$	$v_{A_i} = \frac{\sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}}$
A_1	1	2	5	2,15	1,40
A_2	1/3	1	3	1,00	0,30
A_3	1/5	1/3	1	0,39	0,04

Загальна корисність (total utility) Таблиця 6

Загальна корисність K_3	A_1	A_2	A_3	$a_i = \sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}$	$v_{A_i} = \frac{\sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}}$
A_1	1	3	5	2,46	1,60
A_2	1/3	1	1/3	0,11	0,06
A_3	1/5	3	1	0,60	0,13

Minimum функції корисності Таблиця 7

Min функції корисності K_4	A_1	A_2	A_3	$a_i = \sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}$	$v_{A_i} = \frac{\sqrt{\prod_{j=1}^m a_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}}$
A_1	1	2	5	2,15	1,26
A_2	1/2	1	5	1,36	0,43
A_3	1/5	1/5	1	0,34	0,03

Крок 3. Формування інтегральних коефіцієнтів. Формування інтегральних коефіцієнтів для кожної альтернативи дає змогу розрахувати узагальнений коефіцієнти узгодженості локальних пріоритетів альтернатив:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m (a_{ij} w_{ij}).$$

На підставі отриманих значень обчислюється індекс узгодженості суджень експертів:

$$I_{iyc} = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1},$$

де λ_{max} — значення узгодженості експертів;

m — кількість порівнювальних елементів.

Отримане значення I_{iyc} порівнюється зі значеннями узгодженості суджень експертів для матриць парних порівнянь різного порядку наведено в табл.8.

Таблиця 8

Узгодженість суджень експертів для матриць парних порівнянь альтернатив різного порядку

Розмір матриці	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значення узгодженості ($\mu_{зу}$)	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,42	1,49

Крок 4. Розрахунок відношення узгодженості пріоритетів альтернатив. Якість суджень експертів оцінюється за значенням відношення узгодженості R_{BVC} :

$$R_{BVC} = \frac{I_{iyc}}{\mu_{zy}} \cdot 100\%,$$

де R_{BVC} — значення відношення узгодженості суджень експертів;
 I_{iyc} — індекс узгодженості суджень експертів;
 μ_{zy} — значення узгодженості суджень відповідно до таблиці 3.

Значення R_{BVC} має задовольняти умові: $10\% \leq R_{BVC} \leq 20\%$.

Крок 5. Синтез глобальних пріоритетів альтернатив. Отримані локальні пріоритети зважуються за значущістю факторів, тобто кожен стовпчик векторів локальних пріоритетів помножуються на пріоритет відповідного критерію:

$$[P_{A_i}] = [V_{A_i}^{K_j}] \cdot [W_{K_j}],$$

де $[P_{A_i}]$ — матриця глобальних пріоритетів альтернатив;
 $[V_{A_i}^{K_j}]$ — матриця нормалізованих пріоритетів альтернатив за кожним критерієм;
 $[W_{K_i}]$ — нормалізований вектор пріоритетів критеріїв.

В таблиці 9 подано результати синтезу глобальних пріоритетів альтернатив за критеріями відповідно з структурною схемою розглянутою на рис. 1.

Таблиця 9

Обчислення глобальних пріоритетів альтернатив за обраними критеріями	Значення глобального пріоритету альтернатив
$0,83 \cdot 1,28 + 1,4 \cdot 0,58 + 1,6 \cdot 0,15 + 1,26 \cdot 0,001$	3,34
$A_2 = 0,11 \cdot 1,28 + 0,3 \cdot 0,58 + 0,07 \cdot 0,15 + 0,43 \cdot 0,001$	0,32
$A_3 = 0,04 \cdot 1,28 + 0,04 \cdot 0,58 + 0,13 \cdot 0,15 + 0,03 \cdot 0,001$	0,09

Розрахунки були проведені для трьох альтернатив забезпечення стратегії "низьковуглецевого" розвитку міського середовища, які отримали наступні пріоритети:

- пріоритет I — сценарій збільшення частки відновлювальних джерел енергії в структурі енергозбереження міста;
- пріоритет II — сценарій збільшення частки перероблювальних відходів в структурі міського господарства;

– пріоритет III — сценарій комплексного розвитку "низьковуглецевого" транспорту міста.

Крім того, визначено коефіцієнти впливу на вибір альтернатив в цілому:

$$[W_{K_i}]^T = [1,28 \ 0,58 \ 0,15 \ 0,001].$$



Рис. 3. Графік пріоритетності альтернатив

Висновки і перспективи подальших досліджень. Метод аналізу ієрархій сьогодні є одним із популярних підходів для розв'язання складних проблем, які потребують низки критеріїв. В статті розглянуто підхід до прийняття рішень на основі застосування синтезу МАІ та теорії корисності. На основі отриманих експериментальних даних побудовано карти ізоквант, які дають змогу, спираючись на методики теорії корисності, сформулювати та обчислити основні характеристики функції корисності.

Таким чином, застосовуючи синтез МАІ та теорії корисності, можна отримати інформацію, достатню для вибору найкращої доступної альтернативи. В статті показано, що оптимальною 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 забезпечення сталого розвитку в різних сферах діяльності міського господарства. Зрештою, стаття закладає підґрунтя для додаткових досліджень і застосування методології МАІ та теорії корисності в досягненні цілей сталого розвитку.

Подальші дослідження будуть направлені на збільшення можливих альтернатив для аналізу та вибору сценаріїв щодо підтримки "низьковуглецевого" розвитку МС, що дозволить визначити першочергові кроки при формуванні новітніх Smart-стратегій з відновлення України.

Список використаної літератури:

1. Бадюл М.Г., Крамаренко В.А. Застосування методу аналізу ієрархій у проєктуванні та будівництві. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. 2013. Вип. 70. С. 27–35.
<http://pvs.uad.lviv.ua/static/media/1-75/7.pdf>
2. Євстрат Д.І., Кушнерук Ю.І. Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки маркетингової активності торговельних підприємств. Проблеми економіки. 2012. № 2. С. 66–71.
[https://economics.kntu.kr.ua/archive/5\(38\)/38_Nisfoian.html](https://economics.kntu.kr.ua/archive/5(38)/38_Nisfoian.html)
3. Кігель, В.Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці [Текст]: моногр. / В.Р. Кігель. – К.: ЦУЛ, 2003. – 202 с.
4. Ковтуненко, Ю.В. Методичний інструментарій оцінки інтелектуального капіталу інноваційного розвитку підприємства [Текст] / Ю.В. Ковтуненко, С.Ю. Каверіна // Економіка та суспільство. – 2016. – № 2. – С. 286–291.
https://economyandsociety.in.ua/journals/2_ukr/51.pdf
5. Кульчицька Х.Б., Предко Л.С. Застосування методу аналізу ієрархій при виборі проєкту в поліграфії. Поліграфія і видавнича справа. 2018. № 1. С. 51–60. <http://pvs.uad.lviv.ua/static/media/1-75/7.pdf>
6. Носирєв О. Смарт-спеціалізація регіонів як інноваційний вектор промислової політики [Електронний ресурс] / Олександр Носирєв // Соціально-економічні проблеми і держава. — 2022. — Вип. 2 (27). — С. 115–130.
<http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22noovpp.pdf>
7. Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: Навчальний посібник. / Волонтир Л.О, Потапова Н.А., Ушкаленко І.М., Чіков І.А., – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 404 с.
<http://repository.vsau.org/getfile.php/25186.pdf>
8. Управління знаннями в системі інноваційного розвитку організації [Текст] / С. М. Ілляшенко, Ю. С. Шипуліна, Н. С. Ілляшенко, Г. О. Комарницька // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2017. – № 1. – С. 231–241.
https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2017_1_231_241.pdf
9. Igor Patrakeyev, Victor Ziborov, Oleksii Mikhno (2020). Intelligent technology for estimating of urban environment quality. Geographia Technica (Romania, CLUJ UNIVERSITY PRESS), Volume 15, Issue 2, 2020, pp. 147–160.

http://technicalgeography.org/pdf/2_2020/15_patrakeyev.pdf

10. Igor Patrakeyev, Victor Ziborov, Oleksii Mikhno (2020). Estimation of metabolic flows of urban environment based on fuzzy expert knowledge. *Geodesy and Cartography (Vilnius Gediminas Technical University)*, Volume 46(1), p. 8–16.

<https://journals.vgtu.lt/index.php/GAC/article/view/8560/9874>

11. 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*, May 2021, Volume 16, Issue 2, p. 55–71. <http://um.ase.ro/no162/4.pdf>

12. Saaty, T.L. (2005) *Theory and Applications of the Analytic Network Process*, Pittsburgh, PA: RWS Publications, — P. 1–29.

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2187134>

13. Younis, T. Shareef. Strategic vision to knowledge management strategy: An evaluative paradigm [Text] / T. Shareef Younis // *World Sustainable Development Outlook 2007*. – Routledge, 2017. – P. 86–93. DOI: 10.4324/9781351280242-7

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781351280242-7/strategic-vision-knowledge-management-strategy-evaluative-paradigm-shareef-younis>

Doctor of Science, Professor **Anatoliy Lyashchenko**,
Ph.D, Docent **Igor Patrakeyev**,
Ph.D, Docent **Victor Ziborov**,
Kyiv national university of construction and architecture

INCREASING THE VALIDITY OF DECISIONS MADE BY THE PROCESS OF ANALYZING HIERARCHIES BASED ON UTILITY FUNCTIONS

The proposed approach to the analysis and selection of alternatives based on utility functions is a development of the hierarchy analysis method developed by T. Saaty. The method consists of analyzing given alternatives by combining the method of analyzing hierarchies and the method of constructing a utility function based on the obtained isoquant maps in the input data space. This method can be used for an arbitrary number of given alternatives. In this case, it seems appropriate to direct the decision maker's efforts to compare not only given alternatives, but also to expand decision-making capabilities..

The selection and ordering of possible alternatives using the proposed method is demonstrated using the example of choosing scenarios for reducing the dependence of cities on the use of fossil fuels and transitioning to the use of renewable energy

sources. The calculated characteristics of utility functions are used as criteria for analysis and selection of the optimal alternative. The proposed criteria and alternatives are presented in the form of a hierarchical structure. The results are obtained based on the interaction of software products Matlab and Excel.

Keywords: expert assessment; process of analyzing hierarchies; matrix of pairwise comparisons; utility function; decision making.

REFERENCES

1. Badyul M.G., Kramarenko V.A. Application of the method of analysis of hierarchies in design and construction. Construction, materials science, mechanical engineering. 2013. Issue 70. P. 27–35. <http://pvs.uad.lviv.ua/static/media/1-75/7.pdf> {in Ukrainian}
2. Yevstrat D.I., Kushneruk Yu.I. Application of the method of analysis of hierarchies to evaluate the marketing activity of trade enterprises. Problems of the economy. 2012. No. 2. P. 66–71.
[https://economics.kntu.kr.ua/archive/5\(38\)/38_Nisfoian.html](https://economics.kntu.kr.ua/archive/5(38)/38_Nisfoian.html) {in Ukrainian}
3. Kigel, V.R. Methods and models of decision support in the market economy [Text]: monogr. / V.R. Kigel. – K.: TsUL, 2003. – 202 p. {in Ukrainian}
4. Kovtunenکو, Yu.V. Methodical toolkit for evaluating the intellectual capital of innovative enterprise development [Text] / Yu. V. Kovtunenکو, S. Yu. Kaverina // Economics and society. – 2016. – No. 2. – P. 286–291.
https://economyandsociety.in.ua/journals/2_ukr/51.pdf {in Ukrainian}
5. Kulchytska H.B., Predko L.S. Application of the method of analysis of hierarchies when choosing a project in printing. Printing and publishing. 2018. No. 1. P. 51–60. <http://pvs.uad.lviv.ua/static/media/1-75/7.pdf> {in Ukrainian}
6. Nosyrev O. Smart specialization of regions as an innovative vector of industrial policy [Electronic resource] / Oleksandr Nosyrev // Socio-economic problems and the state. — 2022. — Issue 2 (27). — P. 115–130.
<http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22noovpp.pdf> {in Ukrainian}
7. Optimization methods and models in business activity: Training manual. / L.O. Volontyr, N.A. Potapova, I.M. Ushkalenko, I.A. Chikov, – Vinnytsia: VNAU, 2020 – 404 p. <http://repository.vsau.org/getfile.php/25186.pdf> {in Ukrainian}
8. Knowledge management in the system of innovative development of the organization [Text] / S. M. Ilyashenko, Yu. S. Shipulina, N. S. Ilyashenko, G. O. Komarnytska // Marketing and management of innovations. – 2017. – No. 1. – P. 231–241.
https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2017_1_231_241.pdf {in Ukrainian}

9. Igor Patrakeyev, Victor Ziborov, Oleksii Mikhno (2020). Intelligent technology for estimating of urban environment quality. *Geographia Technica* (Romania, CLUJ UNIVERSITY PRESS), Volume 15, Issue 2, 2020, pp. 147–160.
http://technicalgeography.org/pdf/2_2020/15_patrakeyev.pdf {in English}
10. Igor Patrakeyev, Victor Ziborov, Oleksii Mikhno (2020). Estimation of metabolic flows of urban environment based on fuzzy expert knowledge. *Geodesy and Cartography* (Vilnius Gediminas Technical University), Volume 46(1), p. 8–16.
<https://journals.vgtu.lt/index.php/GAC/article/view/8560/9874> {in English}
11. 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*, May 2021, Volume 16, Issue 2, p. 55–71. <http://um.ase.ro/no162/4.pdf> {in English}
12. Saaty, T.L. (2005) *Theory and Applications of the Analytic Network Process*, Pittsburgh, PA: RWS Publications, — P. 1–29.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2187134> {in English}
13. Younis, T. Shareef. Strategic vision to knowledge management strategy: An evaluative paradigm [Text] / T. Shareef Younis // *World Sustainable Development Outlook 2007*. – Routledge, 2017. – P. 86–93. DOI: 10.4324/9781351280242-7
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781351280242-7/strategic-vision-knowledge-management-strategy-evaluative-paradigm-shareef-younis> . {in English}