

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ У ПРОЕКТУВАННІ ТА БУДІВНИЦТВІ**

*магістр архіт., асистент каф. основ архітектури Бадюл М.Г.,  
асистент каф. прикладної математики Крамаренко В.А.  
ПДАБА, м. Дніпропетровськ*

У будівельній практиці часто зустрічається необхідність оцінки ефективності прийнятої проектної пропозиції або необхідність порівняння запропонованих рішень. Для вирішення архітектурно-планувальних завдань та розуміння методів розробки технологій проектування зростає роль методів аналізу як системи об'єктів у міському середовищі, так і планувальної і функціональної структури у самих об'єктах. Виникає необхідність розуміння і врахування функціональної структури як всередині, так і зовні об'єктів, соціальних процесів у них, композиційно-естетичного сприйняття об'єкта, функціонального і композиційного взаємодії з іншими об'єктами, зовнішніх зв'язків та інших факторів. Проблема з'являється, коли питання полягає не тільки в оцінці матеріальних або нематеріальних якостей об'єкта вже визначених в кількісних параметрах, але і в оцінці суб'єктивних якостей або процесів, що мають соціальний, естетичний або духовний характер.

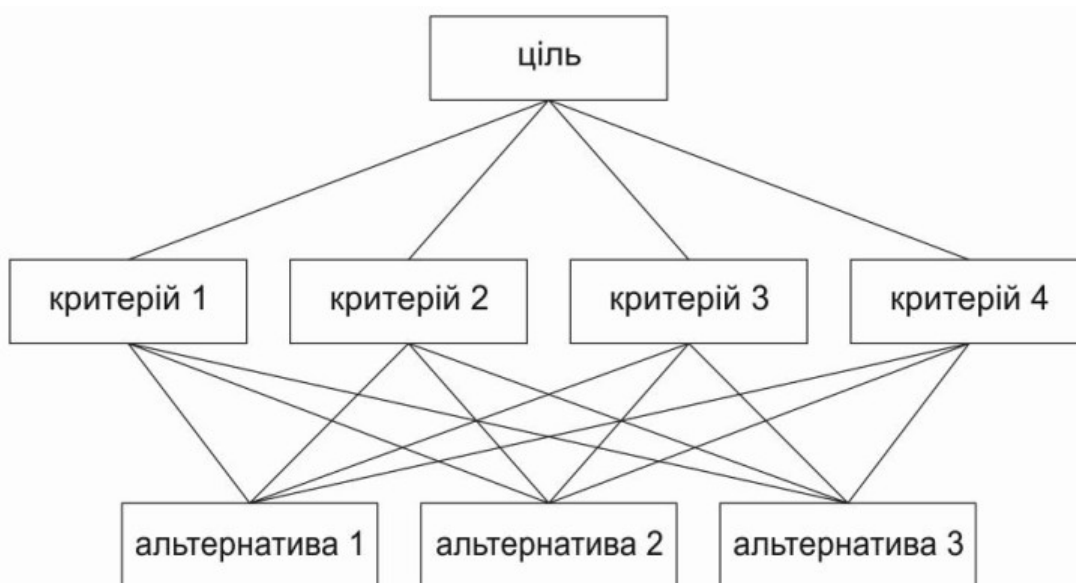
У структурі міста об'єкти загального призначення, що мають однакову основну функцію, можна класифікувати за різними ознаками: щодо віддаленості від житла, транспортної та пішохідної доступності, екологічним складовим і т.д. Так виникає система об'єктів, в якій кожен має свої особливості планувальні і функціональні. Для розуміння процесів взаємодії всіх компонентів як всередині міської системи, так компонентів безпосередньо всередині кожного об'єкта виникає необхідність розгляду об'єктів як складної системи зі структурою елементів з можливою декомпозицією на підсистеми і системного підходу та системного аналізу цієї структури.

Існує велика кількість методів і методик системного аналізу (СА), які можуть бути використані для вирішення завдань, пов'язаних з проведенням досліджень складних, слабкоструктурованих проблем. До числа найбільш ефективних методів прийняття рішень при дослідженні складних ситуацій відноситься метод аналізу ієрархій (МАІ),

запропонований американським вченим Т. Сааті. [1] У цьому методі можливо структурувати складну проблему прийняття рішень у вигляді ієрархії і запропоновано виконання кількісних оцінок як об'єктивних критеріїв, так і суб'єктивних якостей об'єктів. Метод спирається на декомпозицію проблеми на більш прості складові її частини, проведення за спеціальною формою експертного опитування осіб, що приймають рішення (ОПР), і подальшу математичну обробку їх суджень.

Аналіз проблеми прийняття рішень в МАІ (Методі аналізу ієрархій) починається з побудови ієрархічної структури, яка включає ціль вибору, критерії, альтернативи і інші розглянуті фактори, що впливають на вибір рішення. Вирішення складної проблеми завжди є процес поетапного встановлення пріоритетів.

Вершиною ієрархії є головна ціль, елементи нижнього рівня уявляють безліч варіантів досягнення мети (альтернатив), елементи проміжних рівнів відповідають критеріям або факторам, які пов'язують ціль з альтернативами. Побудова такої структури допомагає проаналізувати всі аспекти проблеми і глибше вникнути в суть завдання. (Рис. 1)



*Рис.1. Найпростіша ієрархія МАІ.*

Кожний елемент ієрархії може являти різні аспекти розв'язуваної задачі, причому до уваги можуть бути прийняті як матеріальні, так і нематеріальні фактори, вимірювані кількісні параметри та якісні характеристики, об'єктивні дані та суб'єктивні експертні оцінки. Основне завдання ієрархії - оцінка вищих рівнів виходячи з взаємодії різних рівнів ієрархії, а не з безпосередньої залежності від елементів

на цих рівнях. Ієрархічна система більш стійка й гнучка - малі зміни викликають малий ефект, а додавання не руйнують загальних характеристик.

Наступний етап аналізу - за допомогою процедури парних порівнянь визначення пріоритетів, що представляють відносну важливість або перевагу елементів у кожній групі побудованої ієрархічної структури. Подібно ймовірностям, пріоритети - безрозмірні величини, які можуть приймати значення від нуля до одиниці. Чим більше величина пріоритету, тим більш значущим є відповідний йому елемент. Сума пріоритетів елементів, підлеглих одному елементу вище лежачого рівня ієрархії, дорівнює одиниці. Пріоритет цілі за визначенням дорівнює 1.0. Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати різнорідні фактори, що є відмінною рисою МАІ. Якщо пріоритети всіх елементів не встановлювалися ОНР (Особою, що приймає рішення), то за умовчанням вони вважаються однаковими, тобто всі критерії мають рівну важливість з точки зору цілі, а пріоритети всіх альтернатив рівні за усіма критеріями.

На заключному етапі аналізу збирається інформація для розстановки пріоритетів з усіх учасників, математично обробляється і виконується синтез (лінійна згортка) локальних пріоритетів всіх елементів ієрархії, в результаті якої вираховується кількісна оцінка (глобальних) пріоритетів альтернативних рішень щодо головної цілі. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету.

Послідовне виконання всіх кроків МАІ передбачає можливість зміни структури ієрархії, з метою включення до неї критеріїв та альтернатив, які знову з'явилися або раніше не вважалися важливими.

Для провидіння обчислень в рамках МАІ формуються квадратні матриці, в яких обчислюються ваги розглянутих критеріїв, і визначаються пріоритети. Якщо існують об'єктивні оцінки, то вони просто виписуються і нормуються таким чином, щоб їх сума була рівна одиниці. Для проведення суб'єктивних оцінок (коли немає можливості чисельно оцінити ситуацію) використовується метод парних порівнянь, запропонований Т. Сааті «Прийняття рішень. Метод аналізу ієрархій»[1], для цього формується матриці парних порівнянь елементів.

Коли проблема представлена ієрархічно, матриці парних порівнянь складається також для порівняння відносної важливості критеріїв на другому рівні по відношенню до загальної цілі. Потім подібні

матриці будуються для порівняння альтернатив по відношенню до кожного з критеріїв другого рівня.

Встановлення важливості елементів при парному порівнянні є відображення здатності людини до висловлення відносних (порівняльних) суджень притому, що вона як правило ускладнюється відразу оцінити багатоаспектну проблему в цілому.

Нехай  $n$  безліч елементів деякого рівня ієрархії. Матриця парних порівнянь  $n$  елементів є квадратною (Таблиця 1).

Таблиця 1.

Матриця парних порівнянь.

	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
...	...	...	...	...
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nn}$

Нехай  $A_1, A_2, \dots, A_n$  безліч  $n$  елементів деякого рівня ієрархії і  $w_1, w_2, \dots, w_n$  абсолютні ваги цих елементів, які невідомі заздалегідь і які слід знайти. За результатами заповнення в ході опитування матриця повинна мати властивість зворотної симетричності.

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, n \quad (1)$$

В ідеалі при повній узгодженості суджень елементи матриці парних порівнянь мають вигляд:

$$a_{ij} = w_i/w_j, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

Вони повинні бути пропорційні вагам порівнюваних елементів. Така матриця природним чином має властивість зворотної симетричності, тобто:

$$a_{ji} = w_j/w_i = 1/a_{ij}, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, n \quad (3)$$

На основі виражених чисельно результатів парних порівнянь потім вирішується задача знаходження вагових коефіцієнтів  $w_1, w_2, \dots, w_n$  порівнюваних елементів ієрархічного опису проблеми.

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь (коли немає можливості чисельно оцінити ситуацію) Т. Сааті «Прийняття рішень. Метод аналізу ієрархій» [1] запропонована шкала відносної важливості, представлена у таблиці 2.

Таблиця 2.

Шкала відносної важливості.

Коефіцієнт відносної важливості	Визначення ситуацій
1	Рівна важливість пріоритетів
3	Помірна перевага
5	Суттєва (сильна) перевага
7	Цілком значна перевага
9	Найбільша перевага
2,4,6,8	Проміжне значення між двома сусідніми судженнями (для компромісних ситуацій)

Таким чином значення елемента  $a_{ij} = 5$ , означає, що  $i$ -тий елемент (критерій або альтернатива) має суттєву перевагу над  $j$ -тим елементом  $i$ , навпаки, важливість (пріоритетність)  $j$ -того елемента по відношенню до  $i$ -того складає  $a_{ji} = 1/5$ . Також можна використовувати інші більш прості шкали порівнянь. Наприклад, прості дроби:  $a_{ij} = 1/2$ , означає, що  $j$ -тий елемент (критерій або альтернатива) має перевагу над  $i$ -тим елементом в 2 рази.

Іноді одержувані матриці можуть і не бути повністю узгодженими. Питання узгодженості матриць детально розглянуто Т.Сааті «Прийняття рішень. Метод аналізу ієрархій»[1].

Після формування матриць парних суджень за всіма критеріями настає третій етап остаточного визначення локальних ваг і синтезу на цій основі глобальних пріоритетів альтернативних рішень щодо основної цілі.

Побудуємо математичну модель на прикладі вибору оптимальних архітектурно-планувальних рішень об'єкта. При цьому виникає задача оцінки запропонованих варіантів (альтернатив). Найчастіше об'єкти є багатофункціональними і виникає необхідність оцінки окремих функцій або їх сукупності. Для цього необхідно визначити критерії оцінки, а також вагу кожного критерію в досягненні розглянутої мети.

Нехай  $\{V\}$  - безліч варіантів для порівняння проектного рішення об'єкта.

$$v \in \{V\} \quad (1)$$

$\{N\}$  – безліч функцій, присутніх в об'єкті

$$j \in \{N\} \quad (2)$$

$\{M\}$  – безліч критеріїв оцінки

$$i \in \{M\} \quad (3)$$

Тоді  $P_{ij}^v$  - оцінка впливу на  $j$  (функцію що розглядається) критерію оцінки  $i$  по варіанту  $v$  методом МАІ.

Розглянемо булеву змінну  $\delta_i$ :

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{,– коли критерій } i \text{ присутній в даному об'єкті;} \\ 0 & \text{,– при відсутності даного критерію оцінки} \end{cases} \quad (4)$$

Таким чином можемо отримати ефективність аналізованої функції в одному із запропонованих варіантів:

$$f_j^v = \sum_{i=1}^M \delta_i \cdot P_{ij}^v \cdot c_{ij} \quad (5)$$

де:  $f_j^v$  - ефективність по функції  $j$  у варіанті  $v$ ;

$c_{ij}$  - нормована вага (оцінка) критерію  $i$  в розглянутій функції  $j$ .

Таким чином для оцінки ефективності всього багатофункціонального об'єкта  $\nu$  можна отримати формулу:

$$F^{\nu} = \sum_{j=1}^N \gamma_j \cdot f_j^{\nu} \quad (6)$$

де:  $F^{\nu}$  - оцінка ефективності об'єкта  $\nu$ ;

$\gamma_j$  - нормована вага (вплив) аналізованої функції  $j$  в об'єкті  $\nu$ .

З урахуванням (5) формула (6) має вигляд:

$$F^{\nu} = \sum_{j=1}^N \gamma_j \cdot \sum_{i=1}^M \delta_i \cdot p_{ij}^{\nu} \cdot c_{ij} \quad (7)$$

Для вибору кращої альтернативи (варіанту) введемо булеву змінну:

$$x^{\nu} = \begin{cases} 1 & , - \text{якщо вибраний варіант } \nu; \\ 0 & , - \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (8)$$

Тоді цільова функція задачі має вигляд:

$$F = \sum_{\nu=1}^V x^{\nu} \cdot F^{\nu} \rightarrow \max \quad (9)$$

або:

$$F = \sum_{\nu=1}^V x^{\nu} \cdot \left( \sum_{j=1}^N \gamma_j \cdot \sum_{i=1}^M \delta_i \cdot p_{ij}^{\nu} \cdot c_{ij} \right) \rightarrow \max \quad (10)$$

При обмеженні

$$\sum_{\nu=1}^V x^{\nu} = 1 \quad (11)$$

Останнє обмеження (11) позначає, що вибирається лише один з варіантів, відповідний максимальної оцінки ефективності архітектурного та функціонально-планувального рішення об'єкта.

Запропонована математична модель пропонує ефективний метод оцінки архітектурного об'єкта, як системи процесів, зв'язків об'єкта з іншими системами, ефективності його щодо цілей, що вирішуються. Також розглянута модель дає можливість порівняння як різних проектних пропозицій, що відповідають заданим цілям, так і оцінки та порівняння умов середовища планування і проектування.

Даний метод передбачає участь в аналізі експертів різних сфер діяльності, даючи об'єкту різнопланову, розширену оцінку. Зводячи безліч розглянутих аспектів, які важко сприймаються одночасно, в систему, визначаючи ієрархію компонентів всередині неї, модель дає можливість оцінки системи в цілому, детально розкладаючи й аналізуючи різні критерії, їх функціональну взаємодію і вплив на систему.

### **Висновок:**

При оцінці або порівнянні об'єктів в системі міста, їх функціональної структури і процесів всередині них, виникає необхідність розглядати об'єкти як систему з ієрархічною структурою. МАІ дозволяє зрозумілим і раціональним чином структурувати складну проблему прийняття рішень у вигляді ієрархії, порівняти і виконати кількісну оцінку альтернативних варіантів вирішення враховуючи не тільки матеріальні або нематеріальні кількісно певні якості об'єктів, а й суб'єктивні якості або процеси, що мають духовний характер. Запропонована математична модель пропонує ефективний метод оцінки архітектурного об'єкта, як системи процесів, зв'язків об'єкта з іншими системами, ефективності його відносно цілей, які вирішуються.

### **ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Томас Саати; [пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе]. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Антонов А.В. Системный анализ / А.В. Антонов. — М.: Высшая школа, 2004. — 454 с.
3. Яблонська Г. Д. Економіка архітектурного проектування і кваліметрія: [конспект лекцій] / Ганна Дмитрівна Яблонська. – К. : КНУБА, 2009. - 48 с.



4. Азгальдов Г. Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г. Г. Азгальдов. – Москва.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
5. Лаврик Г. І. Основи системного аналізу в архітектурних дослідженнях і проектуванні: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Г. І. Лаврик. – К.: КНУБА; Українська академія архітектури, 2002. –138 с.
6. Бадюл М.Г. Применение методов системного подхода и системного анализа для оценки выбора архитектурно планировочных решений. / Бадюл М.Г. // Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті / Під загальною редакцією Трегуб Н.Є. – Харків: ХДАДМ, 2012. - № 1 - С.80-89.
7. Бабич В.Н. Методология системного анализа в архитектуре [Электронный ресурс] / В.Н. Бабич, А.Г. Кремлев, Л.П. Холодова // Архитектон: известия вузов. – 2011. - №34. - Режим доступа: [http://archvuz.ru/numbers/2011\\_2/03](http://archvuz.ru/numbers/2011_2/03) - Название с экрана.