



## Лекція 2. Метод системного аналізу

"... Якщо ви захочете, щоб дерево приносило більше плодів, ніж раніше, вам не потрібно нічого робити з його гілками, а потрібно розпушити землю та підкласти новий ґрунт під коріння."

Bacon, Francis (1561–1626).



"...Не тільки результат дослідження, але й шлях, що веде до нього, повинен бути істинним"

Гегель (Hegel) Георг Вільгельм Фрідріх (1780-1831)



"... вчений ... повинен прямувати вузькою стежкою між западнею надспрощення і болотом надускладнення "

Беллман Річард (1920 - 1984)



**1. Етапи – 2. задачі – 3. методи 4. Цільовий аналіз**

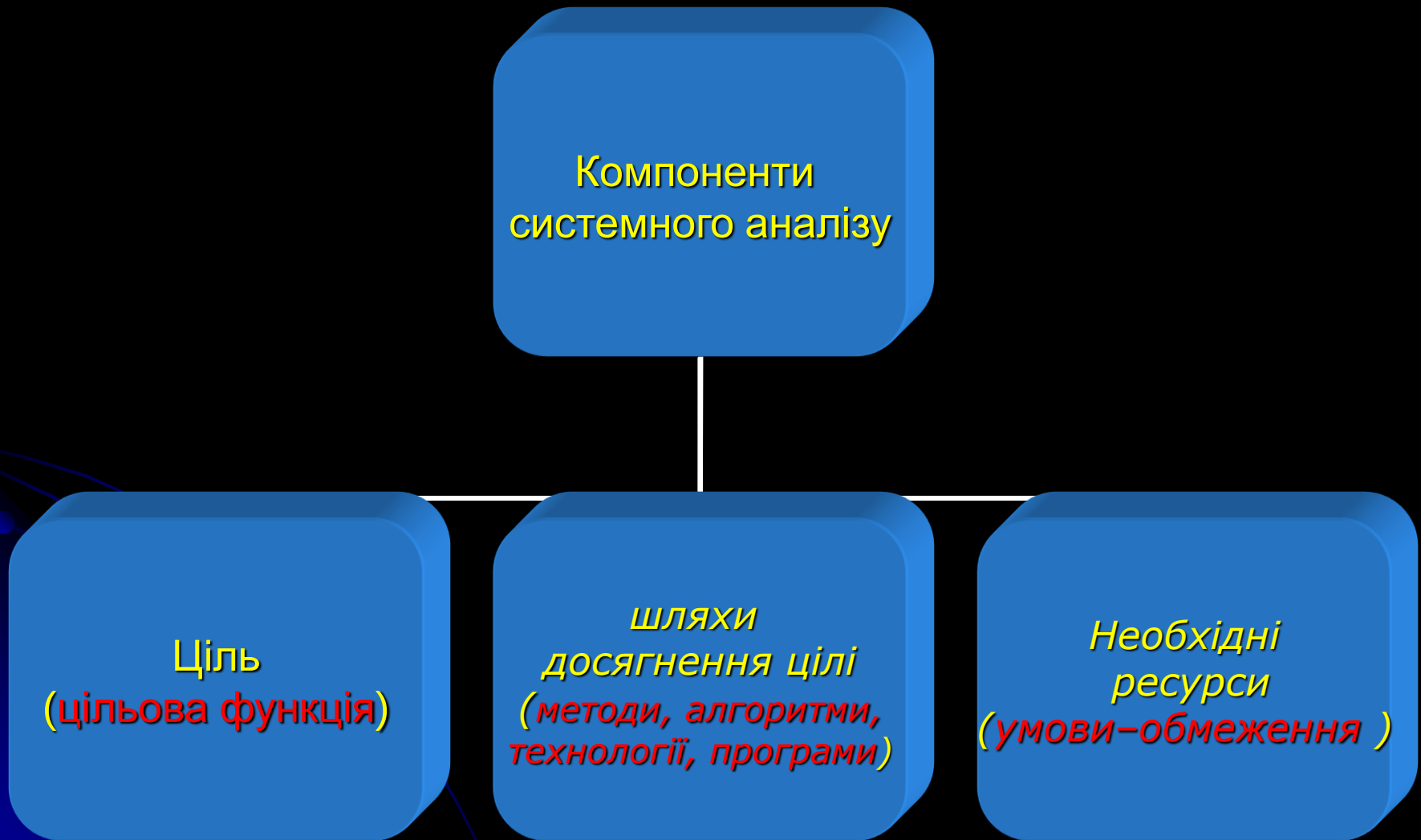
# 1. Етапи системного аналізу.

*Предметом системного аналізу є методологія, яка призначена для розв'язування проблем на основі різного наукового інструментарію*

- Два підходи до системного аналізу, які історично виникли послідовно, що визначились проблематикою та відповідним інструментарієм вирішування проблем:
  - *перший підхід*, що базується на застосуванні формальних математичних прийомів і методів, зокрема моделюванні, теорії оптимізації, дослідження операцій, математико - статистичних методів та апроксимації даних; *МФПС* (методи формалізованого подання систем)
  - *другий підхід* «неформалізований», в основі якого лежить логіка системного аналізу на основі принципів системного підходу.

*МІДФ* (методи, що спрямовані на активізацію застосування інтуїції та досвіду фахівців)

Системний аналіз характеризується наявністю певних типових стандартних компонентів, які практично присутні в аналізі будь-якої проблеми з системних позицій.



Системний аналіз представляє собою виконання певної послідовності взаємопов'язаних дій, виступаючи завжди як процес, що складається з певних основних етапів:

## етапи

*Етап формулювання проблеми, задачі*

*Етап визначення та формулювання цілей*

*Етап визначення наявних ресурсів для досягнення цілей*

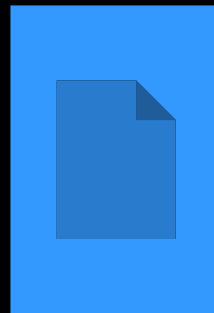
*Етап генерації альтернатив та сценаріїв  
(шляхів, способів, методик) досягнення поставлених цілей*

*Етап вибору оптимальної альтернативи*

## 2. Задачі системного аналізу

Детальніше процес системного аналізу можна розглядати як послідовність виконання зв'язаних між собою процедур, які складаються з відповідних задач аналізу (операцій).

(Послідовність СА по Черняку Ю.І. )



## *1. Аналіз проблеми*

- Чи існує проблема?
- Точне формулювання проблеми.
- Аналіз логічної структури проблеми.
- Розвиток проблеми (минуле, майбутнє).
- Зовнішні зв'язки з іншими проблемами.
- Принципова можливість розв'язання проблеми.

## *2 Визначення системи*

- Формулювання завдань, виходячи з проблеми.
- Визначення позиції спостерігача.
- Визначення об'єкта дослідження.
- Виділення елементів (визначення меж поділу системи).
- Визначення зовнішнього середовища.

## *3. Аналіз структури системи*

- Визначення рівнів ієрархії.
- Виділення підсистем.
- Визначення функціональних і структурних зв'язків.



#### *4. Формулювання загальної мети і критерію системи*

- Визначення цілей – вимог над системи.
- Визначення обмежень середовища.
- Формулювання загальної мети.
- Визначення критеріїв.
- Декомпозиція критеріїв по підсистемах.
- Композиція загального критерію з критеріями підсистем.

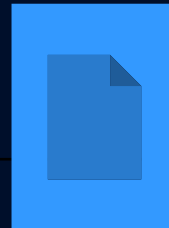
#### *5. Декомпозиція мети, виявлення потреб в ресурсах*

- Формулювання цілей вищого рангу.
- Формулювання цілей підсистем.
- Виявлення потреб в ресурсах.

#### *6. Виявлення ресурсів, композиція цілей*

##### **Оцінювання:**

- Існуючої технології і виробничих потужностей;
- Сучасного стану ресурсів;
- Можливостей взаємодії з іншими системами;
- Соціальних факторів.
- Композиція цілей.
- Проектів, що реалізуються та запланованих



## *7. Прогноз і аналіз майбутніх умов*

- Аналіз стійких тенденцій розвитку системи.
- Прогноз розвитку і зміни середовища.
- Передбачення виявлення нових факторів, що можуть впливати на систему.
- Аналіз майбутніх можливостей, ресурсів та можливих змін критеріїв та цілей.

## *8. Оцінювання цілей і засобів*

- Обчислення оцінок за критерієм.

### **Оцінювання:**

- Взаємозалежності цілей;
- Відносної важливості цілей;
- Дефіцитності і вартості ресурсів;
- Впливу зовнішніх факторів.
- Обчислення комплексних розрахункових оцінок.

## *9. Вибір варіантів (альтернатив)*

- Аналіз цілей на сумісність.
- Перевірка цілей на повноту.
- Відсікання надлишкових цілей.
- Розробка варіантів досягнення окремих цілей.
- Оцінювання і порівняння варіантів.
- Синтез комплексу взаємозалежних варіантів.

## *10. Реалізація варіантів (альтернатив)*

- Моделювання процесів (економічного, технологічного, організаційного тощо).
- Проектування організаційної структури.
- Проектування інформаційних механізмів.
- Виявлення недоліків організації управління та виробництва.
- Виявлення та аналіз заходів щодо удосконалення організації.

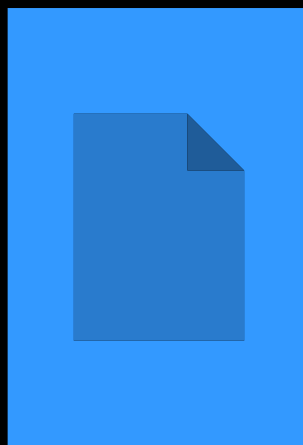
# 3. Неформалізовані методи системного аналізу

- 3.1. Поняття формалізованих та неформалізованих методів
- 3.2. Огляд неформалізованих методів системного аналізу
- 3.3. Загальнонаукові методи

# 1. Поняття формалізованих та неформалізованих методів

- В залежності від степені використання в системному аналізі формальних елементів можна виділити формалізовані математичні методи (методи математичного програмування, дослідження операцій, теорії ігор, статистичні методи тощо), та неформалізовані евристичні методи (метод мозкового штурму, метод Делфі, метод сценаріїв, експертних оцінок, метод дерева цілей, синектики, ділові ігри тощо). На всіх етапах системного аналізу широко використовуються методи моделювання – дослідження реальних об'єктів (систем) на їх моделях (оптимізаційні, машинної імітації, ігрові та інші моделі). Побудова математичних моделей є основою всього системного аналізу.
- Крім того, для розв'язування задач системного аналізу використовують такі загальнонаукові методи досліджень як мікропідхід та макropідхід, аналіз та синтез.

## 2. . Огляд неформалізованих методів системного аналізу



Метод мозкового штурму — це метод посилення творчого підходу стимулюванням генерації ідей у процесі їх обговорення групою людей, при якому забороняється критика. Мета даного методу полягає в стимулюванні виявлення ідей через заохочення ініціативи учасників. При цьому передбачається дотримання таких правил:

- жодна ідея не вважається безглуздою, і тому членів групи заохочують висловлювати довільні крайнощі та неймовірні ідеї;
- кожна з висловлюваних ідей належить колективу, а не особі, що запропонувала її. Кожен член групи може використовувати ідеї інших;
- жодна з ідей не піддається критиці, тому що головна мета — продовжувати, а не оцінювати ідеї.

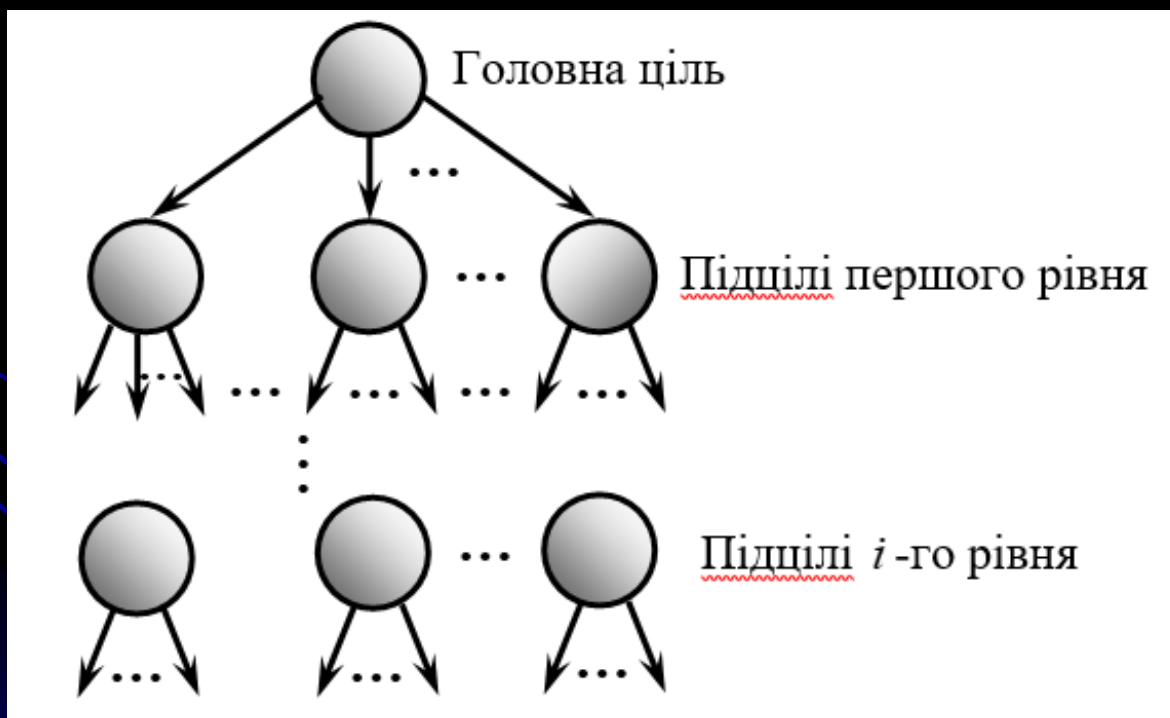
Широкого застосування метод набув в рекламному бізнесі та інших галузях.



**Метод Дельфі** (дельфійський метод – від давньогрецького міста Дельфі, яке відоме своїм оракулом) – метод експертного прогнозування шляхом організації системи збору експертних оцінок, їх математико – статистичної обробки і послідовного корегування на основі результатів попереднього циклу обробки. Метод Дельфі зберігає переваги наявності кількох суджень та усуває негативний ефект зміщених оцінок, який можливий за особистої взаємодії респондентів. Основа методу – збір поштових анкет. Наприклад учасники опитування відповідають на першу анкету та відсилають її. Спеціалісти узагальнюють відповіді, визначаючи груповий консенсус, та відправляють цей результат респондентам разом із другою анкетою для переоцінки своїх попередніх відповідей. Основна ідея цього методу полягає в тому, що консенсус приводить до кращого розв’язку після кількох циклів опитування. На практиці значні зміни не відбуваються уже після другого циклу.



**Метод дерева цілей** (США, 1957р. Стратегія належить авторам: системному аналітику професору Чарльзу Черчмену та його учню професору Расселу Акоффу – вченим в області теорії систем, системного аналізу та дослідження операцій) – це метод побудови ієрархічної структури цілей, тобто послідовний поділ розв’язуваної проблеми на її частини, підпроблеми



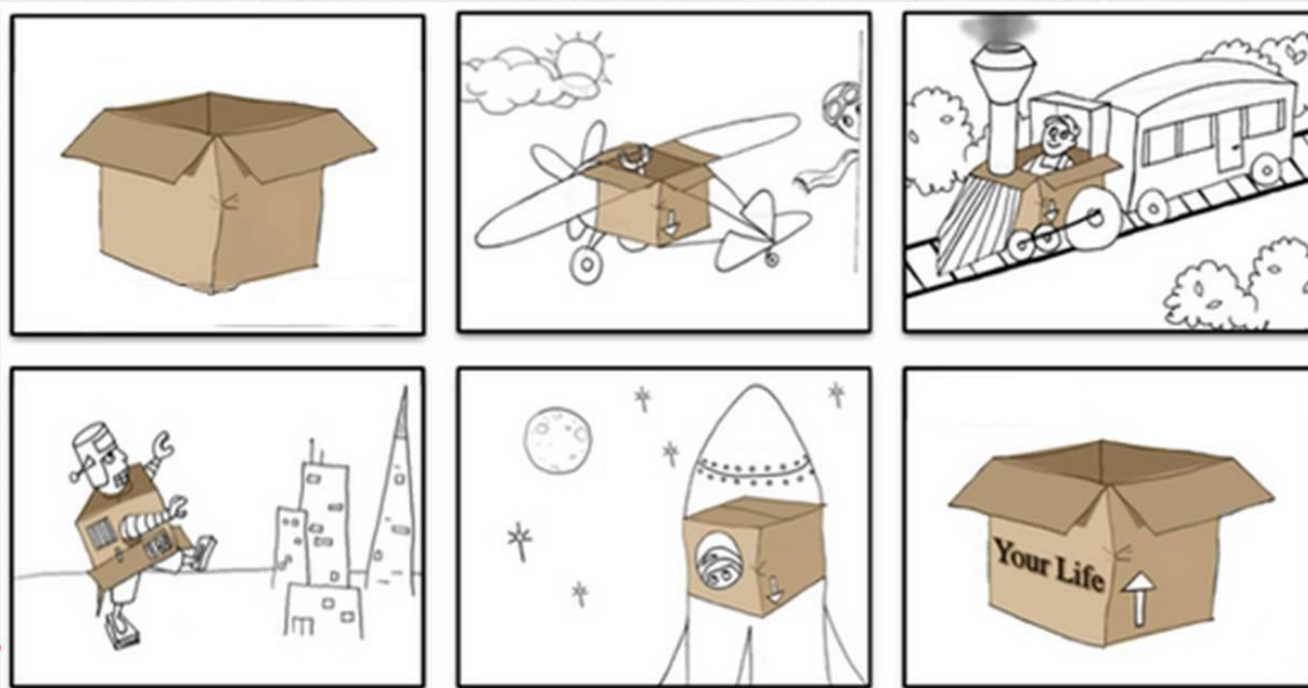
**Метод синектики** – це пошук аналогій до поставленого завдання за допомогою асоціативного мислення. На відміну від мозкового штурму головною метою тут є генерування невеликої кількості альтернатив. Для цього формується група з 5 – 7 осіб, які характеризуються гнучкістю мислення, широким світоглядом та практичним досвідом у різних сферах діяльності, психологічною сумісністю тощо. Після набуття певного досвіду спільної роботи група починає цілеспрямоване систематичне обговорення довільних аналогій, що виникають стосовно проблеми, яка розглядається.

Для успішної роботи необхідно дотримуватись деяких правил: забороняється обговорювати недоліки та переваги окремих членів групи, кожен має право припинити роботу без жодних пояснень, роль ведучого постійно переходить до інших членів групи.

Синектика ефективна при розв'язанні переважно інженерних проблем (завдань).



Головна її відмінність полягає в тому, що синектори висувають не сформульовані ідеї, а лише асоціації та аналогії, що виступають в ролі цеглинок для побудови ідеї в цілому. Незавершені думки висловлюються у формі образів, метафор, порівнянь і описів відчуттів.



**Метод сценарного аналізу** оснований на аналізі ймовірних шляхів розвитку або поведінки системи в майбутньому. Отже, сценарій являє собою певний варіант можливого розвитку подій, деякій логічно обґрунтований прогноз, який з певною ймовірністю реалізується після прийняття рішення. Як правило, розробляють кілька варіантів сценарію розвитку подій (оптимістичних та песимістичних), в яких враховують і результати кількісного техніко – економічного або статистичного аналізу. Далі за сценаріями розробляють комплексні програми розвитку підприємств, галузей, об'єктів тощо.

- Отже, сценарій є попередньою інформацією для проектної діяльності, зображення системи у вигляді графіків, таблиць, схем для проведення експертних оцінок та використання інших методів системного аналізу.



**Метод експертних оцінок** полягає в опитуванні групи фахівців з метою з'ясування їхньої думки стосовно досліджуваної проблеми. При застосуванні цього методу вважається, що думка групи експертів надійніша, ніж думка одного експерта. Метод ґрунтується на тому, що невідома характеристика досліджуваного явища (процесу, системи) трактується як випадкова величина, а індивідуальна оцінка кожного експерта щодо істинності та значущості тієї чи іншої події є відображенням її закону розподілу. При обробці результатів колективної експертної оцінки застосовують методи теорії рангової кореляції.



### 3. Загальнонаукові методи в системному аналізі

**Метод макropідходу** полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні тільки загальної поведінки системи як єдиного цілого. Макropідхід базується на методі кібернетики під назвою «**чорний ящик**», У. Р. Ешбі. Суть метода полягає в тому, що поведінка системи (її реакція на зовнішні дії) вивчається без знання внутрішньої структури системи. В міру поглиблення знань про поведінку системи можна робити висновки і про її будову.

**Метод мікropідходу** зв'язаний з детальним описуванням кожного компонента системи, дослідженням їх структури, функцій, взаємозв'язків, структури системи в цілому.

Практична реалізація найважливішого етапу мікro підходу – виявлення елементів системи та взаємозв'язків між ними – пов'язана з необхідністю подолання суперечності між бажанням більш детального вивчення кожного з компонентів системи та реальною можливістю дослідити при цьому структуру системи в цілому і принципи її функціонування. При надмірній деталізації послаблюються системні зв'язки і погіршується зв'язок з головною ціллю системи.

Методи аналізу (аналітичний) та синтезу (синтетичний) є загальнонауковими, філософськими методами пізнання дійсності, сутність яких полягає відповідно у поділі цілого на частини (процедура *декомпозиції*) та в об'єднанні частин у ціле (процедура *агрегування*).

На етапі *декомпозиції* системи здійснюється:

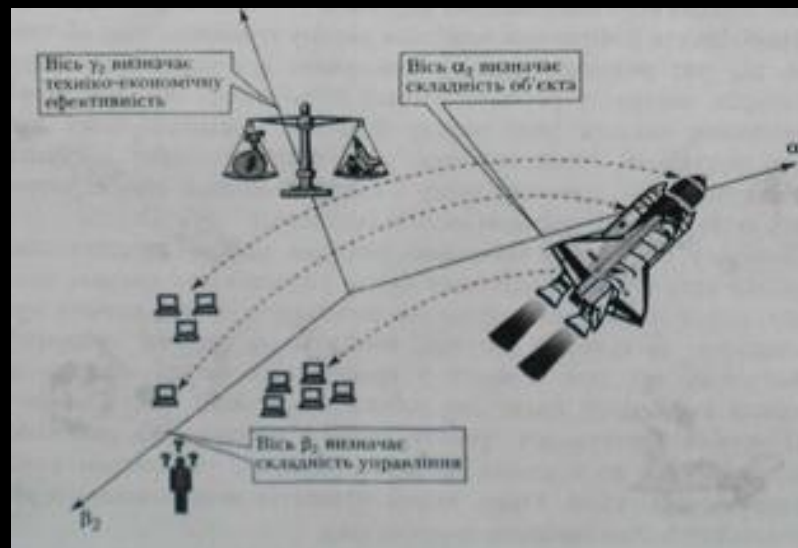
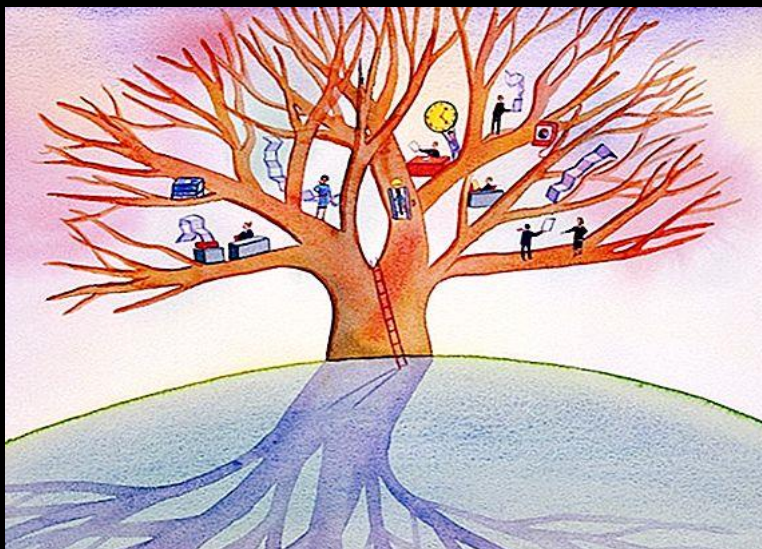
- визначення та декомпозиція загальної мети дослідження та головної функції системи як обмеження траєкторії в просторі станів системи або в області допустимих ситуацій. Найчастіше декомпозицію виконують побудовою дерева цілей та дерева функцій;
- виділення системи із середовища (абстрагування);
- опис впливових факторів;
- опис тенденцій розвитку;
- опис системи як «чорної скриньки»;
- функціональна, компонентна (за типом елементів) та структурна (за типом відношень, зв'язків між елементами) декомпозиція системи.





## 4. Системно – цільовий аналіз

1. Елементи теорії графів
2. Методика побудови дерева цілей
3. Оцінювання пріоритету цілей



Велика кількість задач прикладного характеру, у першу чергу, задач системології, системного аналізу потребують розглядання попарних зв'язків виду  $(V_i, V_j)$  між об'єктами  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , які складають деяку задану множину  $V$ . Наприклад,  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – набір можливих станів системи, а наявність зв'язку  $(V_i, V_j)$  означає можливість переходу системи із стану  $V_i$  в стан  $V_j$  у процесі функціонування. Узагальнюючи приклади різних систем, приходимо до поняття графа, яке визначається математичною теорією графів:

Граф  $G(V, U)$  вважається визначеним, якщо задані множиною  $V = \{V_1, V_2, \dots\}$  деяких об'єктів і множиною  $U = \{U_1, U_2, \dots\}$  всіх існуючих попарних зв'язків виду  $U_k = (V_i, V_j)$  між вершинами.

Основна термінологія:

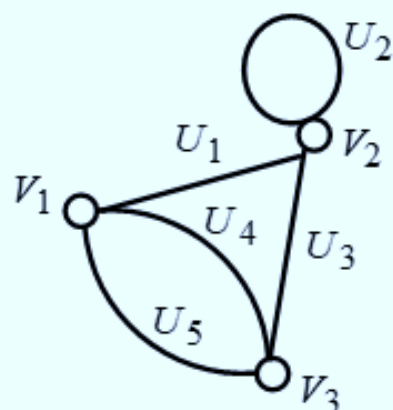
**Дуга** – орієнтований зв'язок між вершинами, тобто, напрямлений:  
 $V_i \longrightarrow V_j$  - можливий тільки перехід  $V_i \longrightarrow V_j$ .

**Ребро** – неорієнтований зв'язок між вершинами:  $V_i \text{ --- } V_j$ , тобто можливі обидва переходи:  $V_i \longrightarrow V_j$  та  $V_j \longrightarrow V_i$ .

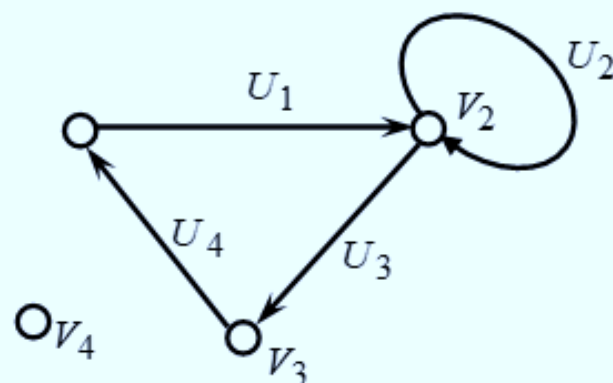
Відповідно розрізняють *орієнтовані* (*орграфу*) та *неорієнтовані* (*неорграфу*), а також змішані графи.

Приклади графів подані на рис. 8.1.





а)  $G_H(V, U)$



б)  $G_0(V, U)$

Рис. 8.1

а) Неорграф:

$$G_H(V, H): V = \{v_1, v_2, v_3\}, U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\} = \{(v_1, v_2), (v_2, v_2), (v_2, v_3), (v_1, v_3), (v_3, v_1)\}$$

Ребро  $U_2$  называется **петля**;

б) Орграф:

$$G_o(V, U): V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}, U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\} = \{(v_1, v_2), (v_2, v_2), (v_2, v_3), (v_3, v_4)\},$$

Орграф називають навантаженим або зваженим, якщо кожна дуга  $U$  визначається відповідним чином  $l(U)$ , яка називається довжина дуги або її вага.

Наприклад,  $l(U)$  може визначати відстань, час, перепускна, здібність, імовірність безвідмовної роботи, тощо.

**Шлях** на графі  $G(V, U)$  – послідовність дуг, коли кінець попередньої є початком наступної (характеристика *орграфа*).

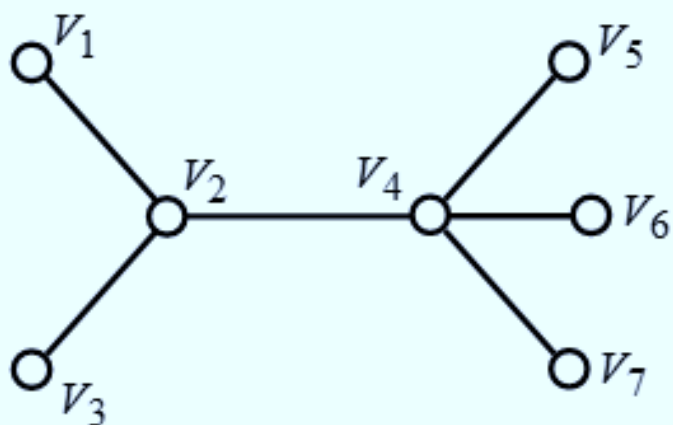
**Довжина шляху** – сума всіх дуг. Для зваженого орграфа:

$$l(\mu) = \sum_{U_k \in \mu} l(U_k).$$

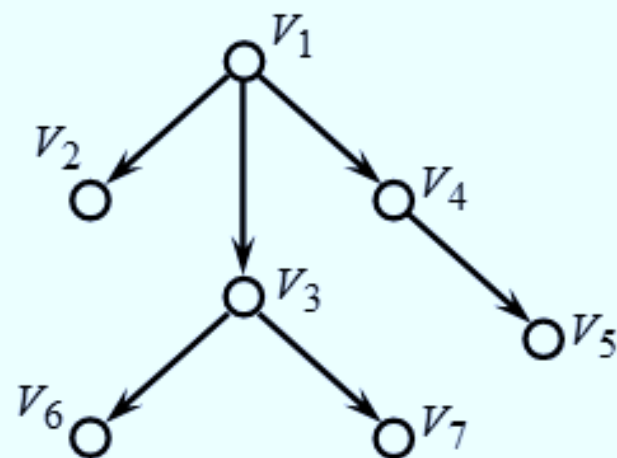
**Контур** – кінцевий шлях, для якого початкова вершина першої дуги співпадає з кінцевою вершиною останньої дуги шляху, рис. 8.1. б: контур – послідовність дуг  $U_1, U_3, U_4$ .

Способи подання графів:  
множинний, графічний, матричний

Графічний спосіб – наочний, наприклад, граф у вигляді дерева, рис. 8.2.



а) неограф - дерево



б) оргграф - дерево

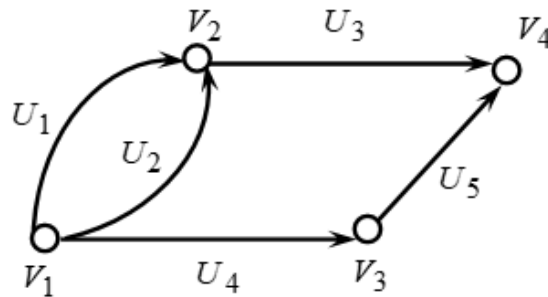
Рис. 8.2

**Матричний спосіб** – зручний для виконання операцій над графами.

Матриця суміжності графа  $G(V, U)$  – це квадратна матриця, порядок якої  $(n)$  дорівнює числу вершини графа, а елементи  $a_{ij}$  визначають кількість дуг (ребер)

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ - & - & - & - \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} = \|a_{ij}\|.$$

Наприклад для орграфа на рис 8.3

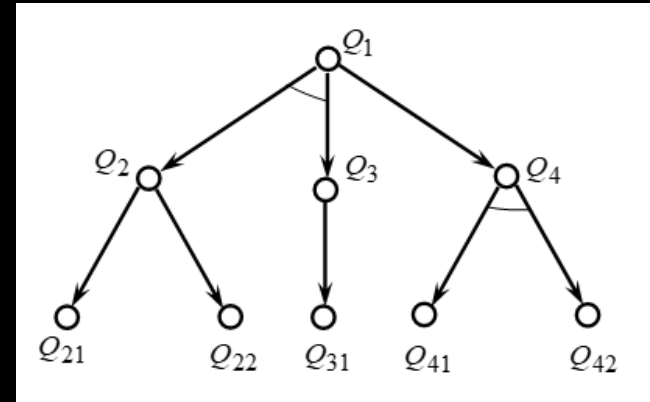
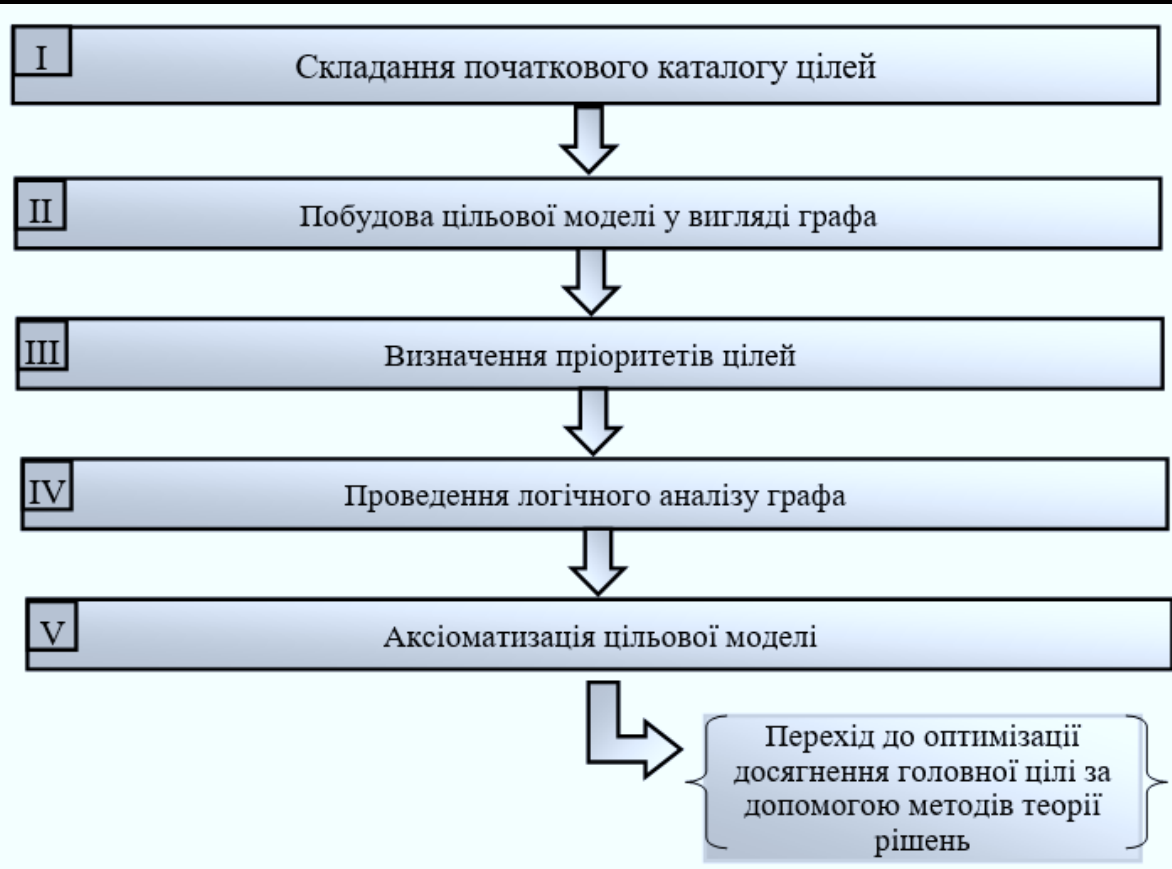


$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Рис. 8.3

## 2. Методика побудови дерева цілей

Процес обґрунтування та постановки цілей є важливим етапом системного аналізу і за суттю складає його предмет дослідження. Представимо методику побудови дерева цілей у вигляді схеми послідовних процедур:



граф типу „**I** – **АБО**”, де підцілі зв’язані операцією кон’юнкції – „**I**” позначені додатковою дужкою – якщо для досягнення цілі необхідна реалізація всіх її підцілей, або диз’юнкції – „**АБО**” – якщо підцілі є альтернативними варіантами досягнення цілі

### 3. Оцінювання пріоритету цілей

Метод оцінювання пріоритету цілей шляхом послідовного уточнення експертних оцінок

1. Цілі нумерують, починаючи з одиниці так, що найбільш важлива з них буде мати індекс „1”, наступна за значущістю індекс „2” і т.д. Якщо позначити довільну ціль  $Q_1$ , то отримаємо ряд цілей:

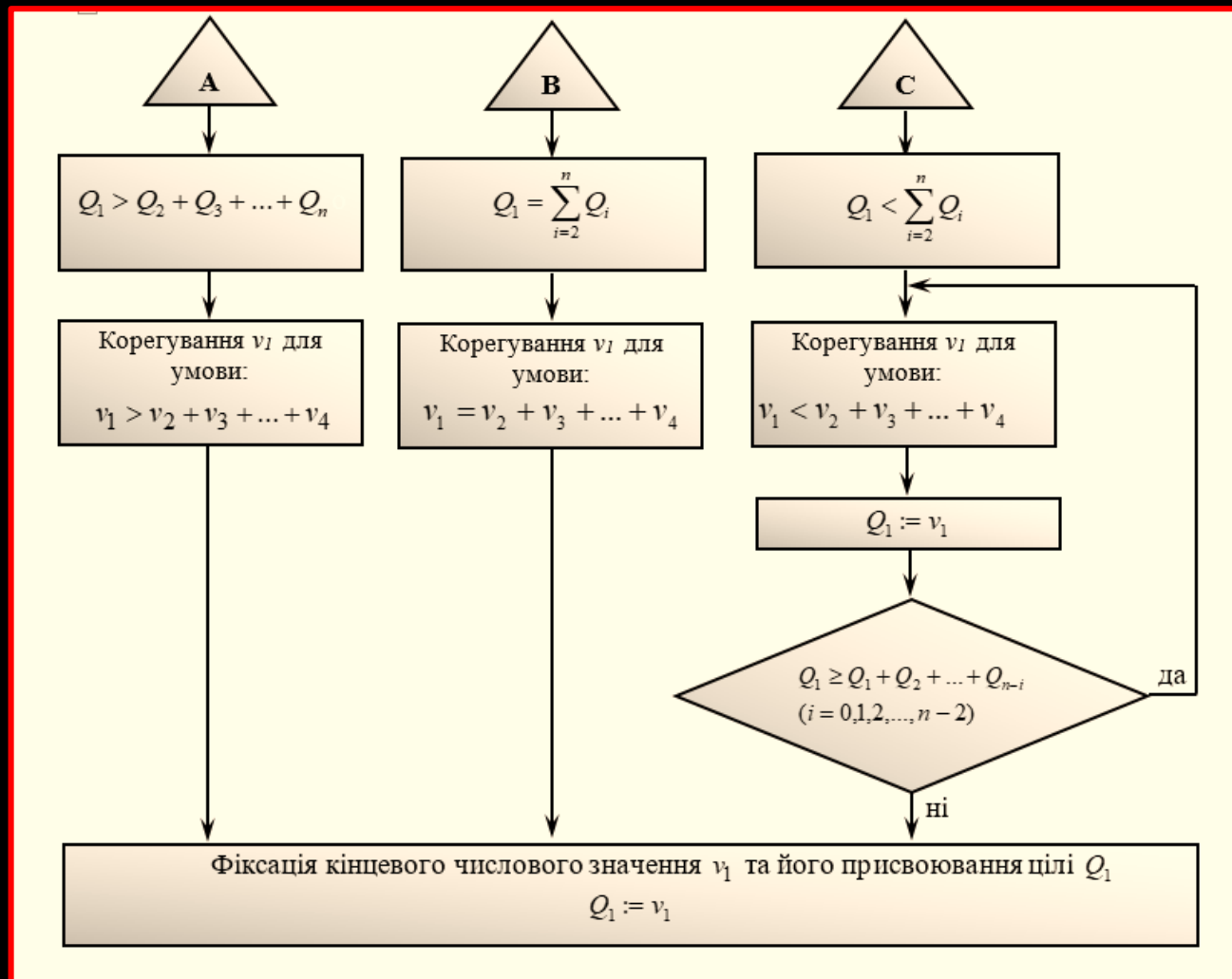
$$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n.$$

2. Цілі  $Q_1$  (головній цілі ряду) надають значення  $v_1 = 1$ . Іншим цілям ряду надають значення, які характеризують їх важливість (значущість) відносно першої цілі  $Q_1$ .

3. Оцінюють важливість цілі  $Q_1$  порівняно до логічної суми всіх інших. Розглядають три випадки:

- А –  $Q_1$  більш пріоритетна за суму  $Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$ ;
- В –  $Q_1$  та сума  $Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$  рівно важливі;
- С –  $Q_1$  меншого пріоритету за суму  $Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$ .

Відповідно до випадку корегують значення  $v_1$ , яке надають цілі  $Q_1$ , рисунок



4. Далі розглядають ряд без першої цілі, тобто  $Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n$  та установлюють кінцеве значення  $v_2$  шляхом порівняння цілі  $Q_2$  з рядами  $Q_3 + Q_4 + \dots + Q_{n-i} (i = 0, 1, 2, \dots, n-3)$ , як на етапі 3.

5. Аналогічно встановлюють значення для всіх  $v_i$ . Остання операція даної процедури є порівняння  $Q_{n-i}$  та  $Q_n$ .

6. Далі нормують значення  $v_i$  за формулою:

$$v_i' = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}, \text{ відповідно } \sum_{i=1}^n v_i' = 1.$$

Отримані оцінки є відносні, тому виключення або додавання будь-якого результату може впливати на значення оцінок

Розглянемо *приклад*.

Нехай деякий студент ставить перед собою наступні цілі в семестрі:

- 1). Закінчити семестр з відмінними оцінками (іспити здавати тільки на відмінно).
- 2). Прийняти участь в спортивних змаганнях і отримати призове місце.
- 3). Відвідувати клуб студентської творчості.
- 4). Підготувати доповідь на наукову конференцію.
- 5). Виконувати громадські доручення.
- 6). Познайомитись з дівчиною (хлопцем) X.

Оцінимо пріоритет цілей, користуючись пропонованою методикою



1

1. Упорядкуємо цілі: $Q_1$  – Закінчити семестр з відмінними оцінками; $Q_2$  – Доповідь на конференцію; $Q_3$  – Клуб студентської творчості; $Q_4$  – Познайомитись з дівчиною; $Q_5$  – Участь у спортивних змаганнях; $Q_6$  – Громадські доручення.

2

2. Надаємо значення вагомості: $Q_1 \Rightarrow v_1 = 1;$  $Q_2 \Rightarrow v_2 = 0,3;$  $Q_3 \Rightarrow v_3 = 0,3;$  $Q_4 \Rightarrow v_4 = 0,3;$  $Q_5 \Rightarrow v_5 = 0,2;$  $Q_6 \Rightarrow v_6 = 0,1.$ 

3

3. Оцінимо важливість цілі  $Q_1$  відносно всіх інших.Нехай досягнення цілі  $Q_1$  і всіх інших однаково важливе:

$$v_1 = v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6 = 1,2, \text{ тоді } v_1 = 1,2$$

4. Розглядаємо ряд без першої цілі, тобто порівнюються  $Q_2$  та  $\sum_{i=3}^6 Q_i$

$$v_2 < v_3 + v_4 + v_5 + v_6; \quad 0,3 < 0,9.$$

Визнаємо це відношення вірним.

Далі порівнюємо  $Q_2$  та  $Q_3 + Q_4 + Q_5$ :

$$0,3 < 0,8$$

$$v_2 < v_3 + v_4 + v_5 \quad - \text{відношення вірне.}$$

Далі перевіряємо  $Q_2$  та  $Q_3 + Q_4$ :

$$0,3 < 0,6;$$

$v_2 < v_3 + v_4$  – дана оцінка для  $Q_2$  занижена, тому доцільно буде призначити значення

$$v_2 = 0,5$$

5. Аналогічно установлюємо значення інших  $v_i$ .

$$Q_3 \text{ та } \sum_{i=4}^6 Q_i : v_3 = 0,3 < 0,6 = v_4 + v_5 + v_6.$$

Нехай оцінка для  $Q_3$  також занижена, тому надаємо їй нове значення  $v_3 = 0,4$ .

Далі порівнюємо  $Q_3$  та  $Q_4 + Q_5$ :

$$Q_3 = 0,4 < 0,5 = v_4 + v_5.$$

Нехай далі цілі будуть рівнозначними, однак, нехай  $Q_3$  менш важливе, ніж  $Q_2$  (нехай  $v_2 > v_3$ ). Тому зберігаємо  $v_3 = 0,4$  і перерахуємо суму  $v_4 + v_5 = v_3 = 0,4$ :

$$\frac{v_4}{0,4} = \frac{0,3}{0,5} \Rightarrow v_4 = \frac{0,3 \cdot 0,4}{0,5} = 0,24;$$

$$\frac{v_5}{0,4} = \frac{0,2}{0,5} \Rightarrow v_5 = \frac{0,2 \cdot 0,4}{0,5} = 0,16.$$

Порівнюємо  $Q_4$  та  $Q_5 + Q_6$ :

$$v_4 = 0,24 < 0,16 + 0,1 = v_5 + v_6 - \text{ визнаємо це відношення вірним.}$$

Порівнюємо  $Q_5$  та  $Q_6$ :

$$v_5 = 0,16 > 0,1 = v_6 - \text{ відношення вірне.}$$

6

6. Після нормування значень  $v_i$ , отримаємо кінцевий результат:

| $Q_i$   | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ | $Q_6$ | $\sum_i Q_i$ |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| $v_i$   | 1,4   | 0,5   | 0,4   | 0,24  | 0,16  | 0,1   | 2,8          |
| $v_i^*$ | 0,5   | 0,18  | 0,14  | 0,08  | 0,06  | 0,04  | 1            |

Пріоритетність цілей  
(нормовані вагові  
коефіцієнти)

