

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу**

**Кафедра комп'ютерних технологій в системах  
управління і автоматики**

**О.Г. Малько**

## **ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**Для студентів спеціальності  
“Системи управління і автоматики”**

Івано-Франківськ  
2008

МВ 02070855-1146-2008

**Малько О.Г.** Основи системного аналізу: Конспект лекцій. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – 153 с.

Конспект лекцій містить дедуктивний матеріал по основам теорії систем та системного аналізу і призначений для засвоєння лекційного курсу з дисципліни “Основи системного аналізу” Розроблений у відповідності з робочою програмою навчальної дисципліни, чинним навчальним планом підготовки фахівців за спеціальністю “Системи управління і автоматики”. Може бути використаний студентами денної та заочної форм навчання.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедри комп’ютерних систем та мереж ІФНТУНГ Шермовський Г.Я.

Рекомендовано методичною радою університету.  
Дане видання – власність ІФНТУНГ.  
Забороняється тиражування та розповсюдження.

## ЗМІСТ

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>ВСТУП</u></b>                                                   | <b>5</b>  |
| <b><u>1 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМОТЕХНІКИ</u></b>                       | <b>7</b>  |
| <b><u>1.1 Поняття система</u></b>                                     | <b>7</b>  |
| <b><u>1.2 Характеристики систем</u></b>                               | <b>8</b>  |
| <b><u>1.3 Класифікація представлення систем</u></b>                   | <b>10</b> |
| <b><u>1.4 Представлення систем</u></b>                                | <b>11</b> |
| <b><u>1.5 Процеси у системах</u></b>                                  | <b>18</b> |
| <b><u>1.6 Цілеспрямованість і управління</u></b>                      | <b>20</b> |
| <b><u>1.7 Контрольні запитання до першого розділу</u></b>             | <b>23</b> |
| <b><u>2 СКЛАДНІ СИСТЕМИ І ПРИНЦИПИ СИСТЕМОТЕХНІКИ</u></b>             | <b>25</b> |
| <b><u>2.1 Властивості складних систем</u></b>                         | <b>25</b> |
| <b><u>2.2 Принцип фізичності</u></b>                                  | <b>26</b> |
| <b><u>2.3 Принцип моделюємості</u></b>                                | <b>30</b> |
| <b><u>2.4 Принцип цілеспрямованості</u></b>                           | <b>34</b> |
| <b><u>2.5 Функціонування принципів системотехніки</u></b>             | <b>36</b> |
| <b><u>2.6 Контрольні запитання до другого розділу</u></b>             | <b>38</b> |
| <b><u>3 КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМОТЕХНІКИ</u></b>                              | <b>39</b> |
| <b><u>3.1 Компоненти наукового пізнання</u></b>                       | <b>39</b> |
| <b><u>3.2 Головна практична задача системотехніки</u></b>             | <b>41</b> |
| <b><u>3.3 Системна методологія дослідження проблем</u></b>            | <b>41</b> |
| <b><u>3.4 Теорія і модель</u></b>                                     | <b>43</b> |
| <b><u>3.5 Системні моделі</u></b>                                     | <b>48</b> |
| <b><u>3.6 Функції і характеристики складних систем</u></b>            | <b>55</b> |
| <b><u>3.7 Контрольні запитання до третього розділу</u></b>            | <b>56</b> |
| <b><u>4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ</u></b>                                    | <b>57</b> |
| <b><u>4.1 Основні задачі дослідження систем (аналіз і синтез)</u></b> | <b>57</b> |
| <b><u>4.2 Моделі і моделювання систем</u></b>                         | <b>58</b> |
| <b><u>4.3 Опис систем</u></b>                                         | <b>61</b> |
| <b><u>4.4 Дослідження дій та прийняття рішень</u></b>                 | <b>67</b> |
| <b><u>4.5 Методика формалізації об'єкта</u></b>                       | <b>70</b> |
| <b><u>4.6 Проблеми моделювання складних систем.</u></b>               | <b>71</b> |

|             |                                                                           |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| <u>4.7</u>  | <u>Ефективність</u>                                                       | 76  |
| <u>4.8</u>  | <u>Контрольні запитання до четвертого розділу</u>                         | 87  |
| <u>5</u>    | <u>СИСТЕМНИЙ ПІДХІД</u>                                                   | 88  |
| <u>5.1</u>  | <u>Формування загальних уявлень про систему</u>                           | 88  |
| <u>5.2</u>  | <u>Формування поглиблених уявлень про систему</u>                         | 89  |
| <u>5.3</u>  | <u>Моделювання системи як етап дослідження</u>                            | 92  |
| <u>5.4</u>  | <u>Контрольні запитання до п'ятого розділу</u>                            | 93  |
| <u>6</u>    | <u>ОРГАНІЗАЦІЙНІ СИСТЕМИ. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ</u>                         | 94  |
| <u>6.1</u>  | <u>Покращення і проектування систем</u>                                   | 94  |
| <u>6.2</u>  | <u>Проектування систем. Системний підхід</u>                              | 95  |
| <u>6.3</u>  | <u>Системний підхід з точки зору управління</u>                           | 96  |
| <u>6.4</u>  | <u>Приклади застосування системного підходу</u>                           | 97  |
| <u>6.5</u>  | <u>Поняття загальної теорії систем (ЗТС) і аспекти системного підходу</u> | 98  |
| <u>6.6</u>  | <u>Процес прийняття рішень (ПР)</u>                                       | 105 |
| <u>6.7</u>  | <u>Світогляд ОПР</u>                                                      | 108 |
| <u>6.8</u>  | <u>Процес проектування систем. Системна парадигма</u>                     | 115 |
| <u>6.9</u>  | <u>Цілі, пріоритети, компроміси</u>                                       | 121 |
| <u>6.10</u> | <u>Кількісні визначення і виміри</u>                                      | 124 |
| <u>6.11</u> | <u>Визначеність, ризик, невизначеність і неясність</u>                    | 134 |
| <u>6.12</u> | <u>Поняття розмитих (нечітких) множин</u>                                 | 135 |
| <u>6.13</u> | <u>Одно - і багатоцільові моделі прийняття рішень</u>                     | 137 |
| <u>6.14</u> | <u>Управління</u>                                                         | 141 |
| <u>6.15</u> | <u>Алгоритм Клі</u>                                                       | 143 |
| <u>6.16</u> | <u>Контрольні запитання до шостого розділу</u>                            | 149 |
|             | <u>ПІСЛЯМОВА</u>                                                          | 151 |
|             | <u>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</u>                                        | 153 |

## ВСТУП

В наукових дослідженнях і технічних розробках, на виробництві, в соціальних сферах ми постійно стикаємося з сукупностями об'єктів, які прийнято називати складними системами. Їх відмінні особливості – це багато чисельні і різні по типу зв'язки між окремо існуючими елементами системи і наявність у системи функції (призначення), якої немає у частин, з яких вона складається. Зв'язки (взаємодії) між елементами складної системи будуть характеризуватися певним порядком, внутрішніми властивостями, направленістю на виконання функції системи. Такі особливості конкретної системи називаються її організацією.

На перший погляд кожна складна система має свою, тільки їй властиву організацію. Але більш глибокий аналіз здатний виділити, наприклад, загальне в ієрархічній системі команд ЕОМ, в управлінні економікою, в процесі проектування технічного об'єкта і в створенні художнього твору, в управлінні науковими дослідженнями і в військовій стратегії.

Ясно те, що організації властиві деякі загальні закономірності, і вона може вивчатися окремо, незалежно від конкретного змісту і призначення складної системи. Типові абстраговані властивості організації - це наявність між елементами відношень підлеглості, послідовність та інша впорядкованість процедур, узгодження подій і цілей, своєчасна передача інформації і управління, вплив на направленість процесів, прийоми обліку невизначеності та багато іншого. Також можна говорити про застосування в системі різних знань і технічних засобів, ролі і місця людини в моделюванні і спрощенні, централізованому використанні інформації.

Основною задачею вивчення організації є побудова потрібної системи та управління нею. Основною операцією при цьому є прийняття рішення, тобто деякий формалізований чи неформалізований вибір, який дозволяє досягнути фіксованої часткової цілі або просунутись в її напрямку. Прийняття рішення в складній системі проводиться технічним засобом чи людиною і засноване на порівнянні і оцінці варіантів дій. Постановка як основної, так і часткових цілей в

системі також звичайно підлягає аналізу і дослідженню. Знову ж головною процедурою при цьому виступає прийняття рішення.

Як відомо, вивчення процедур прийняття рішення і зв'язаної з цим організації системи складає актуальну проблему створення і експлуатації складних систем. Підкреслимо, що все це може здійснюватися на основі спеціально розроблених прийомів, методик, типових моделей організації системи і прийняття рішень. Закони організації такі, що допускають вивід наслідків, конкретизацію; можливе ефективне застосування формалізації, в першу чергу математичного знання.

Таким чином, виникла нова, але вже широко відома і з великою кількістю додатків міждисциплінарна гілка науки – системний аналіз.

В сучасному розумінні системний аналіз – це наукова дисципліна, яка займається проблемами прийняття рішення в умовах аналізу великої кількості інформації різної природи.

З цього визначення випливає, що метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення степені обумовленості рішення, яке приймається, розширення множини варіантів, серед яких проводиться вибір, з одночасним вказівкою способів відкидання тих з них, які апріорі поступаються іншим. В максимально спрощеному виді системний аналіз – це деяка методика, яка дозволяє не випустити з розглядання можливі сторони і зв'язки об'єкта, процесу, явища, яке вивчається.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМОТЕХНІКИ

## 1.1 Поняття система

В залежності від широти представлення прийнято декілька визначень системи.

Найбільш загальне: *Система це сукупність об'єктів на які накладені зв'язки*. Причому під поняттям зв'язок розуміються такі терміни як: взаємне розташування об'єктів, організація, сполучення, взаємодія, кількісне співвідношення та. ін.

Більш конкретне: *Система – це об'єкт будь-якої природи чи сукупність об'єктів довільної, в тому числі і різної природи, який володіє вираженою системною властивістю, тобто властивістю, якою не володіє ні одна з частин системи при будь-якому способі поділу, і яка не виводиться з властивостей частин*.

Найбільш важливим наслідком цього визначення є те, що властивість системи формується в процесі певної організації її складових, тобто вона залежить як від складових системи так і накладених на них зв'язків.

Наглядними прикладами формування системних властивостей є такі системи як слово, число, речення.

Дійсно, слово складається з букв, які є символами, що відображають звуки. Слово ж володіє семантичною (змістовною) властивістю, яка формується шляхом організації букв певним чином. Так з одних і тих-же елементів (букв) за рахунок накладання зв'язків (розташуванні у слові) можна сформувати різні системи (слова). Слід вважати що система може складатися з одного елемента, однак властивості системи і елемента можуть бути різні. Так такі слова як „я”, „і”, „а” і т. п. по позначенню співпадають з відповідними буквами, однак властивості у них різні.

У прийнятій порядковій системі числення властивість числа (його кількісний еквівалент) залежить від порядку розташування (зв'язків) цифр (елементів системи). Не слід плутати поняття цифра і число (аналогічно з буквою і словом), так як вони володіють зовсім іншими властивостями. Так цифра (0, 1, 2, ..., 9) є символ для представлення чисел, тому число „8” і цифра „8” хоч і співпадають по запису мають

зовсім інші властивості. Тому беззмінними є висловлювання типу „сума двох цифр ...” і т. п., хоч, нажаль, це часто зустрічається навіть у авторитетних виданнях.

Аналогічно можна сформулювати системні властивості речення, параграфу, глави (розділу), статті, книги.

Прикладами формування властивості інших систем:

- властивості фізичних елементів таблиці Менделєєва різні за рахунок організації одних і тих же нуклонів у ядрі атома;

- властивості вуглеводів, так бензини, спирти, пластики і т. п. мають однаковий елементний склад, однак, за рахунок різноманітності зв'язків, різні властивості;

- властивості електронної апаратури, формуються за рахунок з'єднань типових електронних елементів згідно певної схеми;

- в будівництві, з одних і тих же типових елементів формуються будови різного призначення;

- організаційні системи, з однієї елементної бази (людей) за рахунок організації формуються різні структури (держава, парламент, армія, міністерство, адміністрація, відділ, академічна група студентів, сім'я і т. п.).

## 1.2 Характеристики систем

Люба система характеризується трьома змінними (рис.1.1):

- множиною впливів на систему зовнішнього середовища (зовнішнім впливом, входом системи, вхідною дією) –  $U$ .

- множиною змінних стану системи (станом системи) –  $X$ ;

- множиною впливів системи на зовнішнє середовище (вихід системи, вихідна дія, реакція системи) –  $Y$ .

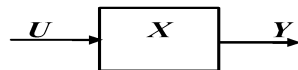


Рисунок 1.1 Характеристики системи

Фактично сприйняття любого об'єкту, виділення його серед інших (ідентифікація) здійснюється за його реакцією на зовнішній вплив і/або на внутрішній стан. Дійсно у абсолютній темряві, використовуючи тільки органи зору, розпізнати об'єкт неможливо, при умові що він не володіє внутрішнім джерелом випромінювання.

Прийняття цих характеристик обумовлено основною постановочною задачею – навіщо нам потрібно досліджувати системи? Робота заради роботи не робиться. Причому під терміном дослідження розуміються поняття: дослідження, вивчення, розробка, проектування і т. п. Відповіддю є „Щоб використовувати системи для власних цілей (потреб).

Якщо проаналізувати процес використання систем то можна зробити висновок, що він полягає у цілеспрямованому впливі на систему з метою отримання необхідних результатів (виходу системи), інакше кажучи у керуванні системою. Однак, щоб бути спроможним здійснювати таке керування, треба знати який вплив треба здійснити на систему, щоб отримати заданий результат. Формально це можна описати за допомогою операторів відображення:

$$L : (U, X) \rightarrow Y, \quad (1.1)$$

вхід, стан у вихід;

$$G : (U, X) \rightarrow X, \quad (1.2)$$

вхід, стан у стан. Ці характеристики можуть мати енергетичну, речовинну, інформаційну, та ін. природу.

У повсякденному житті ми весь час використовуємо знання, які формально представляються цими операторами, навіть не задумуючись про це. Як правило це представлено у вигляді інтуїції і навичок, що формуються у людини з дня її народження. Так пишучі олівцем, або ручкою ми інтуїтивно знаємо як треба вплинути на систему, щоб досягти необхідного результату, тобто знаємо закономірність (1.1).

При використанні складних технічних засобів необхідна інформація у вигляді оператора (1.1), а при їх налагоджуванні, або ремонту (1.2). Як правило ця інформація отримується з технічної документації, зокрема з інструкції по експлуатації.

Таким чином кінцевою метою дослідження систем є

отримання закономірностей типу (1.1) і (1.2) у вигляді необхідному при даному розгляді (описовому, причиново-наслідковому, кількісному і т. п.). Таке представлення системи називають моделлю системи, а процес знаходження цих закономірностей і їх дослідження моделюванням.

### 1.3 Класифікація представлення систем

Класифікація (таксономія) систем теж є деяка абстрактна система об'єктами якої є властивості на які накладені зв'язки.

Часто вживане поняття „класифікація систем” є не зовсім вдалий, так як одна і та ж система в залежності від мети дослідження і глибини розгляду може відноситись до різних класів. Фактично здійснюється класифікація з точки зору абстрактного представлення систем і тому краще застосовувати поняття „класифікація представлення систем”

**По взаємодії з оточуючим середовищем** представлення систем можна поділити на:

- відкриті, взаємодіють з іншими системами;
- замкнуті, не взаємодіють з оточенням.

Очевидно, що в природі замкнутих систем не існує (без зовнішньої взаємодії їх неможливо спостерігати, їх нема). Однак, при деякому розгляді, для спрощення опису - системи можна вважати замкнутими.

**По інерційності** представлення систем можна поділити на:

- **статичні** (без інерційні), вважається, що переходи можуть відбуватися миттєво, процеси в них описуються за допомогою функціональних залежностей між входом станом і виходом, тобто знаючи, у конкретний момент часу, значення входу і стану системи можна статистично визначити значення виходу;

- **динамічні** (інерційні), вважається, що переходи не можуть відбуватися миттєво, процеси в них описуються за допомогою інтегродиференціальних рівнянь.

Очевидно, що в природі статичних систем не існує, навіть електрон має кінцеву масу, а миттєвій зміні стану відповідає нескінченне прискорення, тобто згідно другому закону Ньютона  $a=F/m$  для цього необхідна нескінченна сила.

Однак у випадках коли перехідними процесами можна нехтувати систему можна розглядати як статичну.

**По визначеності** представлення систем можна поділити на:

- **Детерміновані** (визначені), вважається, що невизначеність повністю відсутня і при наявності повної інформації про функції входу і стану вихід системи визначається однозначно. S1 – системи.

- **Стохастичні** (ймовірнісні), вважається, що процеси в системі мають статистичний характер, описуються за допомогою апаратів теорії ймовірності та математичної статистики. S2 – системи.

- **Хаотичні**, повністю невизначені вважається, що зовсім не можна передбачити поведінку системи, прикладом є Броунівський рух. S3 – системи.

- **Складні системи**, володіють особливими властивостями (унікальності, слабо передбачуваності, негентропійності), прикладом є складні технічні системи, біологічні, організаційні системи. Більш детально будуть розглянуті далі. S0 – системи.

## 1.4 Представлення систем

### 1.4.1 "Кортежне" представлення систем

В іншому трактуванні систему можна розглядати, як сукупність елементів, яка володіє наступними ознаками:

- 1) зв'язками, які дозволяють через переходи по них від елемента до елемента з'єднати два будь-яких елемента сукупності (зв'язність системи);

- 2) властивістю (призначенням, функції), відмінною від властивостей окремих елементів сукупності (функція систем).

Назвемо ознаку 1) зв'язністю системи, а 2) – її функцією. Виходячи з цього визначення найбільш простим є "кортежне" представлення системи (тобто "послідовність у вигляді перерахування"):

$$\Sigma: \{\{M\}, \{u\}, F\}, \quad (1.3)$$

де  $\Sigma$  – система,  $\{M\}$  – сукупність елементів;  $\{u\}$  – сукупність

зв'язків;  $F$  – функція системи. Запис (1.3) розглядається як найбільш простий опис змісту системи.

Практично будь-який об'єкт з певної точки зору може розглядатися як система. Важливо усвідомити – чи корисний такий погляд, чи розумно рахувати даний об'єкт елементом. Так, системою можна рахувати радіотехнічну плату, що перетворює вхідний сигнал у вихідний. Для спеціаліста з елементної бази системою буде слюдяний конденсатор на цій платі, а для геолога – і сама слюда, що має досить складну будову.

Великою системою називається система, що включає значну кількість однотипних елементів і однотипних зв'язків.

Різниця між системою, великою системою і складною системою умовна. Так, корпуси ракет чи кораблів, які на перший погляд однорідні, звичайно відносять до складної системи – через наявність перегородок різного виду, підсилювачів, шарової конструкції.

Важливим класом складних систем є так звані автоматизовані системи. Слово “автоматизований” вказує на присутність людини, використання її активності всередині системи при збереженні значної ролі технічних засобів. Для складної системи автоматизованому режиму надається перевага. Наприклад, приземлення літака виконується при участі людини, а автопілот звичайно використовується лише при відносно простих рухах. Також типова ситуація, коли рішення, що виробляється технічними засобами, затверджується до виконання людиною.

Тому автоматизованою системою називається складна система з визначеною роллю елементів двох типів: – технічних засобів; – дій людини. Її символічний запис (можна порівняти з (1.3):

$$\Sigma^A: \{\{M^T\}, \{M^L\}, \{M'\}, \{u\}, F\}, \quad (1.4)$$

де  $M^T$  – технічні засоби, в першу чергу ЕОМ;  $M^L$  – рішення та інша активність людини;  $M'$  – решта елементів системи.

#### 1.4.2 Структура та ієрархія

*Структурою системи називається її розбиття на групи елементів із вказуванням зв'язків між ними, яка не змінюється за весь час розгляду і дає уявлення про систему в цілому.*

Розбиття може мати матеріальну (речову), функціональну, алгоритмічну та іншу основу. Групи елементів в структурі звичайно виділяються по принципу простих або відносно більш слабких зв'язків між елементами різних груп. Структуру системи зручно представляти у вигляді графічної схеми, що складається з модулів (груп) і ліній (зв'язків), які з'єднують їх. Такі схеми називаються структурними.

Для символічного запису структури введемо замість сукупності елементів  $\{M\}$  сукупність груп елементів  $\{M^{\wedge}\}$  і сукупності зв'язків між цими групами  $\{u^{\wedge}\}$ . Тоді структура системи може бути записана як

$$\Sigma\Sigma: \{\{M^{\wedge}\}, \{u^{\wedge}\}\}. \quad (1.5)$$

Структуру (1.5) можна отримати з (1.3) об'єднанням елементів в групи. Відмітимо, що функція (призначення)  $F$  системи в (1.5) опущена, оскільки структура може бути в визначеному степені безвідносна до неї. Відмітимо також, що елементи  $M$  з якої-небудь групи  $M^{\wedge}$  будуть, як правило, неоднорідні.

Наприклад, матеріальна структура збірного мосту складається з його окремих секцій, які збираються на місці. Структурна схема такої системи вкаже тільки ці секції і порядок їх з'єднання. Останній і є зв'язками, які тут носять силовий характер. Приклад функціональної структури – це ділення двигуна внутрішнього згорання на системи живлення, змашування, охолодження, передачі силового моменту та ін. Приклад системи, де матеріальні і функціональні структури об'єднані це відділи проектного інституту, який займається різними сторонами однієї і тієї ж проблеми. Типовою алгоритмічною структурою буде алгоритм (схема) програмного засобу, яка вказує послідовність дій. Також алгоритмічною структурою буде інструкція, яка визначає дії при пошуку неполадок технічного об'єкту.

Прикладами структур інших типів є календар (часова структура) чи ділення книжки на розділи. Ситуація з книгою цікава тим, що тут основа ділення може бути інформаційною (в науковій літературі), речовою (для типографії розділ – це кількість паперу і праці робітників) чи більш складною, наприклад, побудованою на наборі естетичних впливів на читача (для художньої літератури).

Структура системи може бути охарактеризована типами зв'язків, які існують (чи переважають) в ній. Найпростішими з них є послідовне, паралельне з'єднання елементів і зворотній зв'язок (рисунок 1.2).

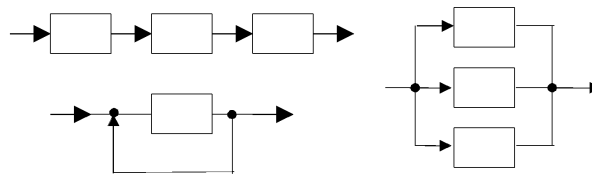


Рисунок 1.2 - Найпростіші типи зв'язків

**Декомпозицією** називається поділ системи на частини, зручний для яких-небудь операцій з цією системою. Декомпозиція, як правило, здійснюється за принципом слабкості зв'язків, тобто зв'язки між елементами підсистеми набагато сильніші ніж між елементами різних підсистем. Прикладами декомпозиції будуть: розгляд фізичного явища, чи математичний опис окремо для даної частини системи; поділ об'єкту на окремі зони обслуговування, частини, які проектуються окремо.

Важливим стимулом і суттю декомпозиції є спрощення системи, надто складної для розгляду в цілому. Таке спрощення може:

- а) фактично приводити до заміни системи на деяку іншу, яка в якому-небудь змісті відповідає вихідній – як правило, це робиться шляхом введення гіпотез про відкидання чи ослаблення окремих зв'язків в системі;
- б) повністю відповідати вихідній системі і при цьому полегшувати роботу з нею – така декомпозиція, яка

називається строгою, потребує спеціальних процедур узгодження і координації розгляду частин.

**Ієрархією називають структуру з наявністю підлеглих**, тобто нерівноправних зв'язків між елементами, коли вплив в одному з напрямків здійснює набагато більшу дію на елемент, ніж іншому.

Типовий ієрархічний зв'язок з дією виду “інформація” і “управління” зображений на рисунку 1.3. Звичайно, тут домінує елемент  $M_1$ .

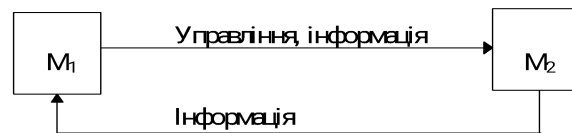


Рисунок 1.3 - Приклад типового ієрархічного зв'язку

Види ієрархічних структур різноманітні. Серед них зустрічаються такі, як кільцеві (перший елемент домінує над другим, другий – над третім і т.д., але останній – над першим) чи домінування, які змінюють напрямок. Але основних, важливих для практики ієрархічних структур всього дві – деревоподібна і ромбоподібна (рис. 1.4).

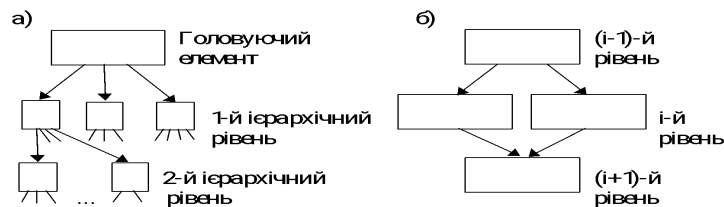


Рисунок 1.3 - Приклади ієрархічних структур  
а - деревоподібна; б - ромбоподібна

Рисунок 1.4 – Приклади Ієрархічних структур  
а) – деревоподібна; б) – ромбоподібна

Деревоподібна структура найбільш проста для аналізу і реалізації. В ній майже завжди зручно виділяти так звані ієрархічні рівні – групи елементів, які знаходяться на однаковому (по числу проміжних елементів) віддаленні від верхнього (головуючого) елемента.

Приклади таких структур в штучних і живих системах надзвичайно багато чисельні. Ними будуть:

а) ланцюг “міністерство – главк – завод – цех – бригада – ланка”;

б) задача проектування технічного об’єкту – від його загальних характеристик (верхній рівень) через проектування основних частин, функціональних систем, груп агрегатів, механізмів до рівня окремих деталей;

в) ієрархія цілей в задачі автоматизованого виробництва – від мети ділянки, яка полягає у максимальному випуску продукції, до програмного забезпечення окремої операції на станку (ціль – операція);

г) в живій природі – ієрархія за ознакою керованості процесів в організмі, ієрархія в стаді та ін.

Ромбоподібна структура веде до подвійної (деколи і більше) підлеглості, звітності, приналежності нижнього елементу. В техніці – це участь даного елементу у роботі більш ніж одного вузла, блока, використання одних і тих же даних чи результатів вимірювань в різних задачах.

Будь-яка ієрархія, в принципі, звужує можливості і особливо гнучкість системи. Елементи нижнього рівня сковуються домінуванням зверху, вони здатні впливати на це домінування (управління) лише частково і, як правило, із затримкою. Однак введення ієрархії різко спрощує створення і функціонування системи, і тому її можна рахувати вимушеним, але необхідним прийомом розгляду складних технічних систем. Недарма той чи інший ступінь ієрархії спостерігається в переважаючій більшості реальних систем.

#### **1.4.3 Модульний поділ систем**

*Група елементів системи, яка описується тільки своїми входами і виходами і яка володіє певною цілісністю, називається модулем.*

Система може представлятися набором модулів і сама розглядатися як модуль. Модульна побудова системи, як правило, визначає її декомпозицію. Нерідко вона визначає і структуру. Однак значення поняття модуля в системному аналізі і суміжних з ним дисциплінах ще ширше. Ділення

системи на модулі – це зручний і найбільш розповсюджений прийом роботи з штучними системами, включаючи їх створення (проектування), перевірку, налагоджування, вдосконалення. Саме модульна побудова системи разом з принципом введення все більш великих модулів при збереженні об'єму входів і виходів, який спостерігається, дозволяє розглядати різної системи складності. Прикладами реалізації цього положення на практиці є створення з сотень тисяч елементів (матеріальних, інформаційних, енергетичних) обчислювальних машин, а також створення інформаційних систем і обчислювальних мереж, які охоплюють цілий ряд країн, включаючи їх багаторівневе програмне забезпечення. Розробка таких систем звичайно йде “зверху”, з продумуванням призначення, входів і виходів модулів верхнього рівня, і далі спускається вниз, все в більшій степені деталізуючи систему.

Схематичне зображення модуля наведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.4 - Модуль J

Рисунок 1.5 – Модуль J.

Тут  $X_j$  – зовнішні (від “не-системи”) впливи на елементи модуля  $J$ ;  $X_{ij}$  – зв’язки від інших елементів системи на елементи модуля  $J$ ;  $Y_{jk}$  – зв’язки (впливи) від елементів модуля  $J$  на інші елементи системи;  $Y_j$  – зв’язки (впливи) від елементів модуля на не-систему, їх також можна розглядати як частину  $F_j$  функції системи  $F$ , яка реалізується модулем  $J$ . В цьому випадку маємо  $\{Y_j\}=F_j$ . Тапер можна представити модуль у вигляді перетворення

$$(\{U_j\}, \{U_{ij}\}, J) \rightarrow (\{y_j\}, \{y_{ij}\}). \quad (1.6)$$

Поняття модуля близьке до концепції “чорного ящика” в кібернетиці (об’єкт, в якому відома тільки залежність виходів від входів). Однак на відміну від такої крайньої ситуації, при дослідженні складних систем, є можливість аналізу того, що

відбувається всередині модуля, але зручно не робити цього на певній стадії розгляду.

Важливість понять модуля, входу, виходу підкреслюється великою кількістю їх синонімів в різних розділах науки та техніки. Так, наприклад, синонімами модуля є “агрегат”, “блок”, “вузол”, “механізм” в техніці; “підпрограма”, “програмний модуль”, “логічний блок” – в програмуванні; “підрозділ”, “комісія” – в організації та управлінні. Типовими входами і виходами є пари “сигнал – відгук”, “вплив (дія) – реакція”, “запит – відповідь”, “аргумент – рішення”, або, більш ширше, “інформація – прийняття рішення”, “управління – рух” тощо.

### 1.5 Процеси у системах

Введемо поняття стану і процесу в системі. Для цього спочатку розглянемо деякий виділений елемент. Він може бути внесений в систему, виключений із системи, перенесений в ній з одного місця в інше. Крім того, можуть бути змінені його зв'язки. Всі ці ситуації відносяться до зміни структури системи.

Але можливі перетворення іншого роду. Будь-який елемент володіє рядом властивостей, характеристик, які також можуть змінюватись в процесі розгляду системи. Внаслідок цього можуть змінитися властивості, характеристики групи елементів, модуля та системи в цілому.

Зафіксуємо всі значення характеристик в системі, важливих для цілей розгляду. Таку ситуацію назовемо станом системи.

Нехай тепер хоча б одна така характеристика змінилась. Це буде новий стан системи. Аналогічно можна розглянути третій – і т.д. – стани, тобто їх набір. Але набір станів – це ще не процес. Нехай вибраний деякий фізичний параметр (частіше всього час) – такий, що різні стани відповідають різним його значенням.

***Процесом назовемо набір станів системи, що відповідає впорядкованій неперервній чи дискретній зміні деякого параметру, що визначає характеристики (властивості) системи.***

Для пояснення можна навести приклад.

Стан робота-маніпулятора будемо характеризувати положенням його основного робочого органу – захвату. Зробимо серію фотографій маніпулятора, на яких захват буде знаходитись в різних точках простору. Чи буде цей набір фотознімків характеризувати який-небудь процес? Без допоміжної інформації це невідомо. Якщо це послідовні в часі положення захвату, то – так (параметр процесу - час). Якщо ж знімки зроблені навгад чи перемішені, то відповідний набір стану не буде процесом.

**Процес руху (зміни) системи в часі називають динамікою системи.** Параметрами процесу можуть також виступати температура, тиск, інші фізичні величини. В якості параметра іноді виступають лінійні і кутові координати (наприклад: процес зміни тиску з висотою) і навіть швидкості. Однак більш типове відношення цих величин до характеристик системи, які самі залежать, наприклад, від часу.

Для символічного запису процесу введемо багатомірну (за кількістю характеристик, що нас цікавлять) величину  $y$ , що описує їх конкретні значення. Всю множину цих можливих величин позначимо через  $Y$ :  $y \in Y$ . Введемо параметр процесу  $t$ , множину його значень  $T$  та опишемо  $y$  як функцію від цього параметра:  $y = y(t)$ . Тоді процес  $S$  є деяке правило переходу від ситуації із значенням параметра  $t_0$  до ситуації із значенням  $t > t_0$  через всі його проміжні неперервні чи дискретні значення:

$$S(y(t_0)) = y(t), y \in Y, t \in T. \quad (1.7)$$

$$\text{Цьому ж процесу буде відповідати відображення множин} \\ TrY \rightarrow Y. \quad (1.8)$$

Процеси в системі можуть відігравати окрему роль. Так, в системі автоматизованого проектування процес проектування як рух від технічного завдання до робочих креслень є основною функцією системи. І в цілому функціонування (а також створення) складної системи звичайно є процесом. Але в тому ж проектуванні напевно необхідно враховувати цілий ряд внутрішніх процесів: якщо щось рухається, то рівняння руху, якщо йдуть хімічні перетворення, то хід реакції. Таким чином, типовий облік процесів в системі як спосіб отримання залежностей виходів

від входів в модулях різних ієрархічних рівнів. При цьому, в принципі, неважливо, чи сприяє в цілому даний процес виконанню системою її функції чи перешкоджає цьому. До останнього випадку відносяться, наприклад, процеси зносу, старіння, а також дії протилежної сторони в ігрових ситуаціях.

### **1.6 Цілеспрямованість і управління**

Поняття цілі системи визначимо як задачу отримання бажаного вихідного діяння чи досягнення бажаного стану системи.

Підкреслимо, що подвійна трактовка цілі – через вихідне діяння чи через стан системи – зручна в додатках. В теорії можна рахувати ціллю тільки вихідні діяння, а бажаний стан включати в список цих діянь. В конкретних випадках така інтерпретація стану системи може вносити додаткові труднощі, а іноді навіть приводити до плутанини.

Постановка цілі перед системою (часто говорять: глобальної цілі) тягне за собою необхідність:

- а) формулювання локальних цілей, що стоять перед елементами системи і групами елементів;
- б) цілеспрямованого втручання в функціонування (побудову, створення) системи.

Обидві ці операції тісно зв'язані, хоча з точки зору практики звичайно спочатку розбирають глобальну мету на набір локальних, а потім шукають шляхи досягнення локальних цілей.

Набір локальних цілей, як правило, сам має ієрархічну багаторівневу будову і в тій чи іншій степені відповідає загальній ієрархії в системі. В цьому випадку поняття «локальні цілі» є збиральний термін для цілей всіх ієрархічних рівнів; для будь-якої з них можна вказати, в яку ціль більш високого рівня вона входить і (крім цілей самого нижчого рівня) на що вона дробиться сама. При модульній будові системи локальні цілі виступають як вимоги до виходів (вихідних характеристик) модулів. Саме продумані вимоги на виходи узгоджують модулі так, що система, що з них складається, виконує глобальну ціль. Таким чином, локальні цілі виступають важливим регулятором організації частин і елементів в цілеспрямовану систему, а їх узгодження

направляє зміни, що передбачаються в системі, в єдине русло.

Зауважимо, що узгодження звичайно є складною, погано формалізованою процедурою. При цьому конкретна локальна ціль може бути і такою, що завадить виконанню сусідньої цілі, і лише компроміс між ними дасть просування до глобальної мети системи.

Перейдемо тепер до того, як і за рахунок чого може бути виконана конкретна ціль.

Цілеспрямоване втручання в процес в системі назовемо управлінням. Управління – важливіше поняття для цілеспрямованих систем. Воно природним чином пов'язане з постановкою цілей: саме можливість втручання, вибору, альтернативи робить процес в системі варіативним, а один чи більше з цих варіантів ведуть до досягнення мети.

Управління – універсальний термін в змісті великого різноманіття його конкретних реалізацій: в математичних моделях ми можемо вибирати числа, функції, алгоритми, графові структури; в технічних системах – сили, геометричні розміри, різні сигнали, включаючи сигнали ЕОМ, фізичні величини – від температури до жорсткості матеріалу, концентрації і переміщення речовин; в економіці – розміри фінансування, матеріальні ресурси і строки їх поставки, розташування кадрів; в соціальній області – накази, ради, дії, впливи на суспільну думку, організацію нових колективів. Підкреслимо, що тут перелічена лише мала доля того, чим в цілях управління можна користуватися в складній системі.

Управління – надзвичайно широкий і вільний у вживанні термін. Суворий (ризикнемо сказати - науковий) підхід до управління потребує чіткого, однозначного визначення:

- а) того, чим ми керуємо;
- б) які межі, в яких ми можемо вибирати;
- в) який вплив даного управління на процес.

Але на практиці по всіх перелічених вимогах можуть бути неясності, а двома останніми іноді зовсім нехтують. Це може приводити до того, що управління не буде вести до мети. Таке положення можливе і в суворій трактовці управління – коли відсутній опис процесу в системі. В цьому випадку ми просто накопичуємо досвід роботи з «чорним ящиком».

У кінці, можна сказати, що в випадку, коли ми виходимо з цілі (що частіше всього і буває), може бути ситуація, при

якій не існує управління, що забезпечує її виконання. Тоді пробують розширити межі, в яких вибирається управління, ввести нові управляючі впливи (тобто ще щось дозволити змінювати), іноді кардинально змінюють структуру системи. В цій ситуації ціль не лежить в області досягнення, яка забезпечується управліннями, що є, і необхідно або розширювати цю область, або переміщувати в її напрямленні мету.

Символьний запис введених понять має наступний вигляд. Загальний вид процесу  $S^u$  з управлінням  $u$  з деякої можливої сукупності управління  $U$  є

$$S^u(y(t_0)) = y(t, u), y \in Y, t \in T, u \in U. \quad (1.9)$$

Цьому керуємому процесу буде відповідати відображення множин

$$U \rightarrow T \rightarrow Y \rightarrow Y. \quad (1.10)$$

В рівнянні (1.9) відображена лише керованість, варіативність процесу, але не його мета. Для запису процесу, що приводить до виконання мети, почнемо з того, що введемо спеціальне позначення  $f$  для тих вихідних дій, на які можна впливати вибором управлінь  $u$ . Таким чином величини  $f$ , що завжди називаються критеріями, є частина виходів  $x_j$  і  $x_j$  чи система в цілому. Позначимо тепер бажаний вид вихідних дій через  $f_G$ , де  $G$  є символ поставленої мети. Критерії, відповідно вважаємо залежними від характеристик  $y$ :  $f = f(y)$ .

Нехай існує момент  $t_G$  (або він заданий) і існує стан характеристик  $y_G$ , що дозволяють досягнути мети  $f_G$ . Нехай стан  $y_G$  може бути досягнутий керованим процесом  $S^u$ . Тоді управління  $u_G$ , що дає змогу виконати ціль  $f_G$ , визначається як частина тріади, що задовольняє співвідношенням (1.11):

$$S^u(y(t_0)) = y(t, u), f(y) = f_G, y \in Y, t \in T, u \in U. \quad (1.11)$$

Тепер позначимо глобальну мету через  $G^0$ , набір локальних цілей першого ієрархічного рівня – через  $\{G^1\}$ , другого – через  $\{G^2\}$  і т.д. Ієрархічна структура цілей в системі запишеться так, як показано у виразі (1.12):

$$G^0 \otimes \{G^1\} \otimes \{G^2\} \otimes \dots \quad (1.12)$$

### 1.7 Контрольні запитання до першого розділу

1. Дайте визначення системи.
2. Що є зовнішніми характеристиками системи?
3. Що є внутрішніми характеристиками системи?
4. Що являє собою відображення:  
 $L:\{U,X\} \rightarrow Y$
5. Що являє собою відображення?  
 $L:\{U,X\} \rightarrow X$
6. Класифікація систем по інерційності?
7. Класифікація систем по визначеності?
8. Структурою системи називається?
9. Приклади структур?
10. Який характер може мати структура?
11. По якому принципу виділяються групи елементів в структурі?
12. Що є метою декомпозиції?
13. Яку структуру називають ієрархічною?
14. Що таке модульний поділ систем?
15. Що називається процесом у системі?
16. Який зв'язок між поняттями цілеспрямованість і управління?
17. Як відбувається реалізація управління?

## 2 СКЛАДНІ СИСТЕМИ І ПРИНЦИПИ СИСТЕМОТЕХНІКИ

### 2.1 Властивості складних систем

**Унікальність** - довільна складна система не має аналогів поведінки або вони настільки рідко зустрічаються, що їх наявністю можна знехтувати.

**Слабопередбачуваність** - ніякі як завгодно детальні знання морфології і функцій елементів (підсистем) не дозволяють однозначно визначити функції системи, ніякі як завгодно детальні і точні знання про поведінку системи в минулому не дозволяють точно передбачити її поведінку в майбутньому.

**Негентропійність** (цілеспрямованість) - система в визначених межах здатна керувати своєю ентропією (зменшувати її, зберігати сталою, гальмувати збільшення) при випадкових несприятливих діях середовища; або (і) здатна здійснювати поведінку, яка переслідує досягнення визначеної мети.

**Негентропія** – міра ймовірності знаходження в даному стані. Вона визначає прагнення системи до основного процесу, здатність усувати наслідки внутрішніх і зовнішніх випадкових впливів.

**Цілеспрямованість** – прагнення до досягнення мети (збереження і підсилення процесу, який веде до мети).

Властивості негентропійності є внутрішніми властивостями системи і не завжди доступні для розуміння дослідника, особливо на відносно короткому проміжку часу в порівнянні з часом існування системи. Тому на перший план при дослідженні складних систем виходить властивість унікальності та слабопередбачуваності, які і є ознакою складності системи.

Будь-які принципи основані на досвіді і суспільній угоді, це стосується і принципів системотехніки. Досвід дослідження об'єктів різного складу; змісту та області застосування (фізичних, технічних, біологічних, ергатичних, розумових конструкцій і т. д.) дозволяє сформулювати три основних принципи системотехніки, які можна покласти в

основу дослідження, використання та створення складних систем:

- принцип фізичності;
- принцип моделюємості;
- принцип цілеспрямованості.

## 2.2 Принцип фізичності

**Принцип фізичності** - довільній системі, не залежно від її природи, притаманні фізичні закони, можливо унікальні, які визначають внутрішні причинно-наслідкові зв'язки, існування і функціонування ніяких інших законів для пояснення дії системи не потрібно.

Принцип фізичності базується на кількох постулатах.

### **Постулат цілісності (лінгвістичне визначення).**

Система (як ціле) володіє особливими, системними властивостями, яких немає у підсистем (елементів) при довільному способі декомпозиції. Системні властивості формуються шляхом накопичення, підсилення і прояви одних властивостей підсистем одночасно з нівелюванням, послабленням і прихованням інших при взаємодії підсистем. Відбувається стрибок - перехід кількості в якість. При композиційному і декомпозиційному дослідженні системи необхідно виявляти системні і підсистемні явно виражені і приховані властивості і пов'язані з ними поняття. Опис системи може не відображати всіх властивостей (з цим пов'язана втрата точності), але повинен зберігати поняття.

**Символьний опис постулату цілісності.** Нехай система  $S$  має кінцеву множину  $Q = \{Q_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  системних властивостей. Для визначеності приймають, що всі властивості  $Q_i$  мають числову міру, не обов'язково єдину (в принципі таке припущення не є обов'язковим, але спрощує запис). Нехай можливо  $\mu$  варіантів (способів) декомпозиції. При  $r$ -й ( $r \in \mu$ ) декомпозиції  $S = \{S_l\}$ ,  $l = 1, \dots, L_r$  ( $L_r$  - кількість підсистем в  $S$ ). Кожна підсистема характеризується кінцевою множиною властивостей,  $Q_l = \{Q_{lk}\}$ ,  $k = 1, \dots, K$ , кожна властивість  $Q_{lk}$  має числову міру, в загальному, індивідуальну. Множина властивостей всіх  $L_r$  підсистем системи при  $r$ -й декомпозиції  $Q_r = \{Q_l\}$ ,  $l=1, \dots, L_r$ . Взаємодіючи, підсистеми породжують множину системних процесів  $F_r = \{F_{rj}\}$ ,  $j=1, \dots, J$ ;  $F_{rj}(t) = \Phi_{rj}(Q_r, t)$ .

Системна властивість  $Q_i$  є функціонал  $\Psi_i$  від процесів, які протікають в системі:  $Q_i = \Psi_i(F_r(t), T)$ .

Постулат цілісності полягає в тому, що

$$(\forall r, S) [\exists ! Q(S) = \{Q_i(S)\}; i = 1, \dots, n; Q_i \cap Q_r = \emptyset].$$

(2.1)

Вираз (2.1) означає: « для всіх  $r \in \mu$  системи  $S$  (  $\forall$  - квантор спільності) існує єдина множина  $Q_i$ , яка залежить тільки від  $S$  і не залежить від  $r$  ( $\exists !$  - квантор існування і єдиності), така, що в  $Q_i$  і в  $Q_r$  не існує жодного спільного елемента».

Кожне з формулювань є моделлю абстрактної складної системи, яка виражена на відповідній мові. Моделі в змістовому відношенні (семантично) тотожні, але мовна різниця породжує нові предмети для роздумів і досліджень.

Таким чином, система - не множина підсистем, а цілісний об'єкт, який допускає різні розчленування на підсистеми (можливо, навіть безмежна кількість розчленувань). Тому система не є тотожною до будь-якого з її розчленувань.

Один з аспектів постулату цілісності полягає в тому, що ні при композиції, тобто об'єднанні підсистем в систему, ні при декомпозиції, тобто розчленуванні системи (в будь-якому з варіантів), не допустима втрата понять. При дослідженні компонентів недопустимим є елімінування цілісних (системних) понять.

Сутність постулату цілісності полягає в тому, що декомпозиція і композиція систем повинна здійснюватись в напрямку генерування інформації, яка характеризує систему більш високої якості.

Якщо сума частин рівна цілому, системи називаються адитивними відносно даного розчленування, якщо сума більше цілого - суперадитивними, якщо сума менше цілого - субадитивними.

Та обставина, що частина може бути складнішою за ціле, має фундаментальне значення для системотехніки, оскільки концепція системотехніки полягає в спрощенні - не всяке розчленування дозволяє одержати частини (підсистеми), більш прості та доступні для досліджень.

Виявлення цілісності потребує обліку всіх взаємозв'язків всередині системи, а також системи з середовищем. Необхідно виявити системну властивість, її зміст, механізм створення, фактори, які перешкоджають її появі чи знижують її рівень. Необхідно зрозуміти, які властивості підсистем подавляються загальносистемною властивістю, який механізм цього пригнічення і в яких умовах він втрачає силу.

Застосування постулату цілісності полягає в розкритті і накопиченні інформації про системні властивості на всіх етапах дослідження і в узагальненні їх в поняття, а потім - в застосуванні цих понять до підсистем при дослідженні їх окремо після декомпозиції. Раціональність декомпозиції оцінюється на основі визначення цілісності: якщо декомпозиція невдала, системні і підсистемні поняття неможливо пов'язати, між ними втрачається правонаступність, вони не стійкі і здаються випадковими.

***Постулат автономності.(лінгвістичне визначення).***

Складні системи мають автономну просторово-часову метрику (групу перетворень) і внутрішні закони збереження, які визначаються фізичним змістом і будовою системи і не залежать від зовнішнього середовища.

***Символьний опис постулату автономності.***

Позначимо відстань і час в середовищі  $S$  через  $d, t$  в системі  $S$  через  $d', t'$ ; пари  $\Delta = \{d, t\}$  і  $\Delta' = \{d', t'\}$  - метрики середовища і системи; швидкість протікання аналогічних процесів відповідно  $u_l \in v, u'_l \in v', l = 1, \dots, m$ ; при  $v' = v$  маємо  $\Delta' = \Delta$ ; множина видів взаємодій в системі  $v = \{v_r\}, r = 1, \dots, R$ ; множина інваріантів системи  $\Gamma = \{\Gamma_j\}, j = 1, \dots, J$ ; множина величин, відносно яких діють закони збереження,  $P = \{P_k\}, k = 1, \dots, K$ . Тоді:

$$(\forall S)(\exists (\Delta', \Gamma), [\Delta' = \Delta'(S)] \vee [\Gamma_j(\Delta') = \Gamma_j(\Delta)] \vee [P(v) = \text{const}] \vee [\Gamma(v) = \text{const}]) .$$

(2.2)

Вираз (2.2) читається так: «для всіх складних систем  $S$  існує просторово-часова метрика  $\Delta'$  і множина варіантів  $\Gamma$ ,

таких, що пара  $\{G, P\}$  визначається складом системи та при будь-яких можливих видах внутрішньо-системної взаємодії вона постійна і не залежить від метрики».

Релятивіський час високоенергетичних частинок - тільки один приклад автономної метрики. Пізнання складних систем потребує розширення релятивіських категорій і розповсюдження їх на різні форми руху. Одні і ті ж фізико-хімічні процеси протікають в різних системах з різною швидкістю, тому їх єдиною мірою часу повинне стати протікання деякого визначаючого внутрішнього процесу, а не зовнішнього (рух Землі навколо Сонця). Складні системи можуть мати локальний масштаб часу, який відрізняється від астрономічного. Для систем, що розвиваються, він може бути різним на різних етапах розвитку.

Автономна метрика обмежує можливі способи декомпозиції системи. З точки зору постулату цілісності різноманітність декомпозиції допомагає виявити системні властивості. З точки зору постулату автономності більшість декомпозицій відпадуть і залишиться одна, яка відповідає автономній метриці системи. Оскільки кожен клас фізичних явищ ототожнюється з певним набором інваріантів, кожна група перетворень і породжена нею геометрія відповідає цьому ж набору.

Деякі інваріанти чи функції від них не змінюються при взаємодії підсистем, зберігаючи значення постійними і допускаючи тільки його перерозподіл між підсистемами. Тоді говорять, що відповідна фізична величина підлягає закону збереження. Швидкість - інваріант, але закону збереження швидкості немає. Але добуток маси на квадрат швидкості не змінюється при взаємодії: це закон збереження енергії.

Проте існують і більш вузькі, внутрішньо-системні «закони збереження», які визначаються складом системи. В сонячній системі (при точному представленні її підсистем - Сонця та планет), площі, які описуються радіусами-векторами планет (в геліоцентричній системі координат), зберігаються сталими. Це закон Кеплера. Як і всякий закон, він пов'язаний з певною ідеалізацією (не враховує збурюючої дії сторонніх тіл) і справедливий тільки в межах цієї ідеалізації. Значення автономних законів, тобто їх вплив на основні загальносистемні властивості, різне.

Інваріанти визначаються фізичним змістом, будовою і ресурсом системи, а не цільовою функцією. Наприклад, інваріантом виробничого комплексу не є кількість продукції, що випускається, яка суттєво залежить від оточуючого середовища: при відсутності сировини випуск продукції неможливий. Інваріантом виробничого комплексу є його енерго-інформаційний ресурс.

На основі дослідження інваріантів виявляються закони збереження. Можна стверджувати, наприклад, що у відповідних системах діють «закон збереження енергоресурсу» і «закон збереження енерго-інформаційності». Ці автономні закони реально властиві системі, їх знання дозволяє розкрити багато важливих властивостей, ідентифікувати та пов'язати процеси, інакше кажучи - пізнати систему на основі емпіричного «мішка фактів», які слабо структуровані та їх важко зрозуміти одразу. Для систем, що розвиваються, енергетичний та енерго-інформаційний ресурси зростають, що не виключає їх інваріантності і існування законів збереження.

Автономні закони складних систем мають модельний характер, вони дійсні на стільки, на скільки модель адекватна до системи. В цьому їх особливість і відмінність від реально-наукових законів.

### 2.3 Принцип моделюємості

Складну систему можна представити кінцевою множиною моделей, кожна з яких відображає визначену грань її сутності.

Модель - абстрактне відображення (образ) реальної системи. Цей принцип дає можливість досліджувати визначену властивість або групу властивостей складної системи за допомогою однієї або декількох вузько-орієнтованих моделей.

Питання про існування і стабільність орієнтованих моделей базується на постулаті доповнюваності, а оцінка меж цієї стабільності - на постулаті невизначеності.

#### ***Постулат доповнюваності (лінгвістичне визначення).***

Складна система при взаємодії із середовищем може проявляти різні властивості в різних ситуаціях, не сумісні ні в одній з них.

***Символьний опис постулату доповнюваності.***

Позначимо:  $Q = \{Q_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  - неупорядкована множина властивостей системи  $S$ , яка взаємодіє із середовищем  $C_k$ ,  $\{C_k\} = C$ ;  $Q^* = \{Q_i^*\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  - множина оцінок  $Q_i$ ;  $q_i^*$  - деяке порогове значення оцінки  $i$ -ї властивості,  $\{q_i^*\} = q^*$ ;  $\Delta$  - зовнішня дія на систему при  $t = 0$ , яка оцінена будь-яким способом;  $\Delta^*$  - деяке порогове значення цієї оцінки. Тоді

$$(\forall S \exists C_k, C_l) [Q^{(1)}(S, C_k) \cap Q^{(2)}(S, C_l) = \emptyset]; Q^{(1)} \subset Q, Q^{(2)} \subset Q, \\ C_k \subset C, C_l \subset C. \quad (2.3)$$

Вперше фізичний принцип доповнюваності для мікросвіту був сформульований Н. Бором: електрон в одних видах взаємодії проявляє себе як частинка (пружні удари), в інших - як хвиля (дифракція). Важко знайти вид взаємодії, при якій корпускулярні і хвильові властивості електрона (чи фотона) проявлялися б одночасно. Це означає, що вимірювальні прилади не будуть реєструвати одночасно того, що ми називаємо «корпускулярними» і «хвильовими» властивостями.

Сила постулату доповнюваності в його конструктивності, яка відкидає як необґрунтований компроміс «того й іншого по трохи», так і неперспективну позицію «чи - чи», він веде від раціонального використання феноменологічних моделей до пізнання цілого.

Розширення фізичного принципу доповнюваності на складні системи досить закономірне, оскільки його дія заснована на системних властивостях мікросвіту. В системотехніці постулат доповнюваності примушує шукати в різних ситуаціях відповідні їм прояви сутності системи. Необхідність постулату доповнюваності пов'язана з обмеженістю наших засобів пізнання та відображення реальності. Природа єдина і цілісна, але відображення її властивостей в нашому представленні неоднозначне та ситуаційне.

***Постулат дії (лінгвістичне визначення).*** Реакція системи на зовнішній вплив має пороговий характер.

***Символьний опис постулату дії.*** Нехай  $t = 0$  - момент

дії. Тоді

$$(\forall S \exists \Delta^*) [\Delta < \Delta^*, (\forall i)(Q_i(t < 0) = Q_i(t > 0)); \Delta > \Delta^*, (\forall i)(Q_i(t < 0) \neq Q_i(t > 0))]. \quad (2.4)$$

Тобто для зміни поведінки системи потрібен приріст впливу, який є більшим деякого порогового значення.

Зміна поведінки складної системи може бути пов'язана з енергетикою, з речовиною і з інформацією, які, накопичуючись, проявляють свій вплив стрибкоподібно, шляхом якісного переходу. Одночасний енерго-інформаційний вплив може привести до такого ж результату, як енергетичний з більш високим рівнем. Таким чином, поріг є функція трьох змінних: кількості певної величини, кількості енергії певної якості, кількості певної інформації.

В атомній фізиці зміна стану залежить від енергії, в системотехніці з'являється новий фактор: інформація (енергетичний і речовий обміни з середовищем в складних системах досить строго регламентовані). Саме приріст інформації, для накопичення якої складна система має спеціальні засоби і можливості, визначає діяльність системи, тоді як надлишок речовини чи енергії може зруйнувати її.

Речовий та енергетичний ресурси складної системи більш-менш стабільні, ця стабільність зростає при збільшенні складності, для чого потрібен аналіз інформації, що поступає, та випередження подій. По суті, складні системи в нетривіальному смислі реалізують демон Максвелла. Конструктивне значення постулату дії визначається по компонентними порогами, значення яких регулюються системою. До певного рівня дія середовища компенсується підсиленням одних і послабленням інших процесів, а починаючи з деякого рівня, необхідною є «переробка» системи.

***Постулат невизначеності (лінгвістичне визначення).***

Максимальна точність визначення (вимірювання) властивостей системи залежить від властивості даній системі області невизначеності, всередині якої підвищення точності визначення (вимірювання) однієї властивості тягне за собою зниження точності визначення іншої (інших).

***Символьний опис постулату невизначеності.*** При  $t > 0$

будь-яка зміна пов'язана із затратами часу, на протязі якого динамічний процес, що вимірюється, і пов'язані з ним процеси змінюються. Чим точніше вимірювання  $x_i(t)$ , тим сильніше зміниться  $x_j(t)$  і тим більше помилка в його вимірюванні. Тому для будь-якої пари процесів  $x_i, x_j$  маємо  $\delta_{x_i}(T), \delta_{x_j}(T) \geq \delta_*$ , де  $\delta_*$  - поріг. Тоді:

$$(\forall S \exists q_*) (\forall i) [|Q_i^* - Q_i| = q_i < q_*, |Q_i^* - Q_i| > q_i(q_i), dq_i/dq_i < 0]. \quad (2.5)$$

Тобто, підвищення точності визначення (вимірювання) якої-небудь властивості, яка описується кількісно, складної системи понад деякого порогу тягне за собою пониження можливої точності визначення (вимірювання) іншої властивості - одночасно виміряти значення двох (чи більше) параметрів з точністю, яка перевищує певний рівень, не є можливим. Інакше кажучи, існує область невизначеності, в межах якої властивості можуть бути описані тільки ймовірнісними характеристиками.

Принцип невизначеності добре відомий з квантової механіки: добуток помилки у вимірюванні координати на помилку в вимірюванні імпульсу частинки не може бути менше постійної Планка, при якій би то не було точності експерименту.

В радіолокації точність одночасного вимірювання відстані та швидкості цілі має межу, яка залежить від виду сигналу. В радіолокації природа невизначеності добре досліджена, побудовані функції невизначеності, знайдені технічні шляхи її «стискування». Проникнення в глибину явища виключило феномен, але принцип зберігся.

Фізична причина невизначеності полягає в тому, що вимірювана величина (кількісний вираз властивості) впливає на внутрішньо-системний інваріант. Наприклад, фізичною константою є стала Планка. Оскільки частинка «не сприймає» впливи, менші порогового, імпульс, значення якого менше певного рівня, не здатен змінити координату частинки. Тому виміряти цей імпульс через вимірювання приросту координати неможливо. З іншого боку, якщо існує прямий спосіб вимірювання абсолютного значення імпульсу (який вищий

порогу) з дуже високою точністю, цю точність не можна пов'язати з вимірюванням координати, оскільки останнє буде обмежене порогом дії.

## 2.4 Принцип цілеспрямованості

**Принцип цілеспрямованості** - сукупність функцій складної системи підсилює (зберігає) процеси, що стимулюють визначені стани системи. Це може бути виражене збільшенням (зберіганням) деякого функціоналу від системних процесів (включаючи взаємодію з середовищем). Питання про те, чи володіє реальний об'єкт "внутрішньою" цілеспрямованістю в точному термінологічному змісті – не обговорюється. Включаючи свою точку зору в опис системи, шукач створює цю цілеспрямованість і виходить з неї.

Наслідком принципу цілеспрямованості є постулат вибору. Складні системи володіють здатністю до вибору поведінки, і отже, однозначно передбачити спосіб дії і екстраполювати їх стан неможливо ні при якому апіорному знанні властивостей системи і ситуації.

**Постулат вибору (лінгвістичне визначення).** Складні системи ( $S_0$ -системи) володіють областю вибору і здатністю вибирати поведінку, тобто реакцію на зовнішнє діяння в залежності від внутрішніх критеріїв цілеспрямованості; ніяке апіорне знання не дозволяє ні надсистемі, ні самій системі однозначно передбачити цей вибір.

**Символьний опис постулату вибору.** Здатність вибору можна інтерпретувати як фізичну ймовірність. Випадковий або не випадковий вибір з можливих рішень визначається накладеними на систему обмеженнями, зовнішніми та внутрішніми флуктуаціями.

Позначимо множину станів  $S_0$ -системи  $s = \{s_i\}$ , множина ситуацій (діянь)  $S = \{S_j\}$ , множина реакцій  $R$ .

$$("So)(\$j) \text{ [}(s_i, S_j) @ r], \quad (2.6)$$

де  $r$  – підмножина  $R$  ( $r \in R$ ) з потужністю більше одиниці, а  $j$  - оператор відображення (відображенням є точка в підмножині, невід'ємна від інших);

$$("So)(\$L(r)) (r_1 > r_2 > \dots > r_i > \dots), r_i OR, \quad (2.7)$$

де  $L$  – впорядковуюче правило: існує міра в впорядкованості (міра, за допомогою якої можна оцінити ступінь переваги)  $m(r)$ ; при цьому виконані наступні умови:

а)  $m(r) \geq 0$ ,

б)  $m(r)$  адитивна, тобто для будь-якого кінцевого розкладу  $r = \sum_{i=1}^n r_i$  виконана рівність

$$m(r) = \sum_{i=1}^n m(r_i) \quad (2.8)$$

Складна система будує свою поведінку в істотному (хоча і неоднозначному) зв'язку з ситуацією. Отже, на цю поведінку можна впливати. Можна очікувати, що ступінь неоднозначності залежить від ситуації, тобто зовнішніх зв'язків. Більше того, не виключено, що в окремих випадках неоднозначність зникне. Це ми і спостерігаємо, при чому на системі самої високої складності – на людині. "Єдина, неповторна, яскрава" людська індивідуальність веде себе "майже" визначено і передбачуваною в окремих умовах.

Існують тонкі способи впливу на поведінку людини: ідеологічні, психічні, етичні та ін. Але повної однозначності залежності вихідної реакції від вхідного дії не досягається. Це характерно для будь-яких живих організмів.

Кібернетичні системи, що вивчаються, вибирають поведінку в залежності від накопиченої інформації та ситуації. Подальше розширення технічних можливостей розширить і можливість вибору. Правда, стверджувати, що людина (надсистема по відношенню до кібернетичної системи) не зможе вивчити систему будь-якої складності, що навчається, настільки, щоб визначити її поведінку в конкретній ситуації, чи оцінити її як "випадкову", неможна. Але, застосовуючи термін "випадкове" в даному випадку, ми просто заповнюємо порожнину між "детермінованою" і "вільною" поведінкою – питання про природу цієї випадковості залишається відкритим. На рахунок можливості здійснити випадковий вибір за допомогою технічних засобів сумнівів немає, все питання в тому, наскільки ця випадковість цілеспрямована і

зв'язана з вивченням.

В системотехніці в основному мають справу з ергатичними системами, для яких постулат вибору висувається на передній план. Знання і практичне використання цього постулату має два аспекти.

Перший відноситься до стимулювання чи пригнічення "свободи" вибору. В пошукових, творчих, слідкуючих системах можливість вибору повинна бути максимальною з метою розширення діапазону діяльності. Виконавчі системи повинні мати можливість вибору в межах поставленої задачі або не мати її зовсім. Відповідно повинні створюватись системи з великою чи малою свободою вибору або з керуємою свободою вибору.

Другий аспект пов'язаний з кількісним описом вибору, його формальним представленням, якісною чи кількісною оцінкою і використанням цієї оцінки при вирішенні задач більш загального характеру. Одна із задач математики складається з розробки апарату кількісного опису не детермінованих, але не випадкових (не стохастичних) властивостей.

## 2.5 Функціонування принципів системотехніки

Принципи фізичності, модельованості, цілеспрямованості достатньо повно відображають методологію системного підходу.

**Принцип фізичності** передбачає причинно-наслідкові зв'язки об'єктам будь-якої природи і системам, які будуються з цих об'єктів. Формалізація зв'язків і визначаючих ними автономних законів дозволяє висловити на одній мові багатомовний опис об'єктів (підсистем). Якщо автономних законів немає, сукупність об'єктів не створює системи, тоді це хаотичний набір компонентів.

**Принцип модельованості** забезпечує можливість використання в системотехніці спрощених моделей, які відображають тільки ті грані істотності складної системи, які цікавлять шукача. Вияв нових властивостей та сутностей не обов'язково повинен супроводжуватись побудовою узагальнюючих моделей, а може обмежуватись нарощуванням бібліотеки спрощених моделей. Відображення складної системи в цілому забезпечується взаємодією спрощених

моделей.

*Принцип цілеспрямованості* розповсюджує практичну сторону людської діяльності на системи будь-якої природи. Принцип цілеспрямованості дозволяє спів ставити складній системі будь-якого змісту якийсь функціонал, який описує її сутність як цілого. Оскільки модель системи відображає точку зору шукача, то цей функціонал відображає і її (наприклад, враховуючи корисність системи).

Сукупність принципів системотехніки не тільки формує єдність в методах пошуку і опису систем будь-якої природи (від фізичних до абстрактних), але і створює концептуальну основу побудови математичного апарату: на основі автономних метрики і законів збереження будуються моделі, які оцінюються по цілеспрямованості.

На перший погляд, принципи фізичності і цілеспрямованості можуть здатися несумісними, принцип модельованості, що заперечує постулату цілісності. Це не так. Закони фізики відомі достатньо добре – особливо в тій частині, яка безпосередньо пов'язана з людськими потребами, крім того, вони формалізовані. Біологічні і суспільні системи цілеспрямовані, вони підлягають особливим законам. Штучні системи діють у відповідності з закономірностями, якими наділив їх митець. Інтелектуальні системи володіють причинно-наслідковою свободою, їх природа від нас прихована.

Як поступити, якщо система, що вивчається чи розробляється, включає в якості підсистем всі компоненти? Звичайним подається виразити властивості такої системи на формальній мові, яка краще розвинута. Такий підхід характерний для науки: Максвелл описав електромагнітне поле (невідому в ті часи субстанцію) на мові механіки, в подальшому механічні аналогії зникли, а рівняння діють до теперішнього часу. "Субстанція" складних систем досліджена мало, інформація про такі системи ситуаційна і далека від фундаментальності, тому ми можемо слідувати прикладу Максвелла. Цілеспрямованість, іманентна або зв'язана з прагматизмом шукача, діє як обмежувач поведінки, тобто як додаткова закономірність. Фізичність уявлення про систему це не порушує. Однобічне, вузько спрямоване модулювання ні в якій мірі не має протиріччя постулату цілісності.

## **2.6 Контрольні запитання до другого розділу**

1. Що відноситься до властивостей складних систем?
2. Що таке негентропія у системному розумінні?
3. Що таке ентропія у системному розумінні?
4. Що є внутрішніми властивостями системи?
5. Що є зовнішніми властивостями системи?
6. Зміст постулатів принципу фізичності?
7. Зміст постулатів принципу моделюємості?
8. Зміст постулатів принципу цілеспрямованості?
9. Що передбачає принцип фізичності?
10. Що передбачає принцип цілеспрямованості?
11. Що передбачає принцип модельованості?

### 3 КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМОТЕХНІКИ

#### 3.1 Компоненти наукового пізнання

В науковому пізнанні можна виділити декілька компонентів, що доповнюють один одного:

1) *емпірико-інтуїтивний*, ймовірно, найбільш давній, оснований на спостереженнях (експериментах) та "вгадуванні" взаємозв'язків між ними;

2) *дедуктивно-аксіоматичний*, прийнятий Евклідом в його "Началах";

3) *конструктивний*, узагальнений Сократом, що йде від часткового до загального та уникаючи догматизму;

4) *асоціативний*, більш всього характерний для Максвелла та Ейнштейна, заснований на вловлюванні подібності між дуже віддаленими фактами та з'єднанні розрізнених елементів за допомогою нової більш глибокої точки зору.

Конкретний акт пізнання не можливий без всіх цих (а можливо і інших) компонентів, а процес пізнання завжди направлений одночасно від частин до цілого і від цілого до частин.

В системотехніці на рівних правах використовуються всі компоненти, це і визначає її наукову парадигму, що зближує методології природознавчих і гуманітарних наук. Класична методологія "точних" наук основана на причинно-наслідкових залежностях і виражається логіко-аксіоматичним відношенням: "якщо А істина, а з А слідує Б, то Б істина". Інакше кажучи, з А слідує Б, але не навпаки. Зокрема, розуміючи під А систему аксіом, а під Б множину теорем, доведених виходячи з А, ми підтверджуємо, що Б є наслідок, але не основа А. Цей ланцюг нескінчений: на основі Б робляться висновки В і т.д., але жоден з наслідків не сприймається як основа А. Фундаментом є аксіоми (в математиці) і закони (в фізиці), або емпіричні факти, або передбачення (у фізиці на передбаченнях засновуються гіпотези, якщо передбачення експериментально підтверджені, гіпотези стають теоріями). Довівши Б, В, і т.д., ми не визнаємо нічого нового про А: процес пізнання строго детермінований і слідує закону причинності. Поняття в точних науках трансформуються у зміні, множини і класи, зв'язок між

якими встановлюється за допомогою однозначних строго сформульованих залежностей.

В описових і гуманітарних науках справа встановлюється по іншому. Історична наслідковість суспільних явищ не викликає сумнівів, однак пізнання минулого не мислиться у відриві від теперішнього. У мовних структурах замкнута взаємовизначеність понять проявляється найбільш наочно.

Аналогічним чином взаємовизначеність понять впливає на процес пізнання у всіх описових і гуманітарних науках. Це стосується і взаємного зв'язку між поняттями: на відміну від строго функціональної залежності між однозначно визначеннями змінними в точних науках, в гуманітарних науках поняття і категорії не зовсім роздільні і неоднозначно зв'язані.

Мова математики, якою користуються точні науки, контекстно вільна, в той час як природні мови гуманітарних наук контекстно зв'язані.

Аксіоматичний підхід до елементарного складу будь-якого об'єкта обмежений: в новому цілому можуть з'явитися нові властивості частин, що формують ціле. Маючи діло з новим чи з відомим об'єктом, але який потрапив в нове середовище чи ситуацію, повністю покладатися на апріорне знання небезпечно. Типовий склад змінних, що описують властивості компонентів об'єкту можуть виявитися непридатними для цілого об'єкту, більше того, в різних структурах може знадобитись різний склад змінних, а як визначити їх – неясно. Перешкоди виникають і при встановленні зв'язків між змінними, оскільки число можливих зв'язків збільшується комбінаторно по відношенню до числа змінних. Частини цілого описуються на різних мовах (проблемно-орієнтовних чи семіотичних), якщо і вдається перевести ці описи на мову математики, то з'єднати ці описи в єдину математичну структуру рідко вдається. Всі ці перешкоди витікають з ігнорування багатозв'язності та взаємовизначеності властивостей та понять.

В системотехніці замість класичного питання "що відбувається" на перший план виступає питання "що нам потрібно взнати про те, що відбувається".

Застосування описового методу в його чистому вигляді

не придатне в першу чергу тому, що практика вимагає точних кількісних співвідношень, які цьому методу недосяжні. Оскільки рішення сучасних проблем потребує групової і суспільної діяльності, необхідна чітка диференціація понять, без якої неможливий кількісний опис процесів.

Частини і ціле виступають і діалектичній єдності і взаємовизначеності. Для об'єкту, що розглядається як система, знімається проблема "що з чого складається". Декомпозиція і композиція, аналіз і синтез, пізнання частин через ціле і ціле через частини виступають в єдності.

### **3.2 Головна практична задача системотехніки**

Головна практична задача системотехніки полягає в тому, щоб, виявивши та описавши складність, обґрунтувати такі допоміжні фізично реалізуємі зв'язки, які б, будучи накладеними на складну систему, зробили б її керованою в потрібних межах, зберігши при цьому такі області самостійності (отож, слабою передбачуваністю), які сприяють підвищенню ефективності системи. Включені в гомеостаз нові зв'язки повинні підсилити сприятливі і ослабити несприятливі тенденції поведінки системи, зберігши і зміцнивши її цілеспрямованість, але орієнтуючи її на інтереси надсистеми. Таким чином, нові зв'язки виконують обмежувальну і охоронну функції. В межі – завдяки накладеним зв'язкам –  $S_0$ -система стає  $S_1$ -системою.

### **3.3 Системна методологія дослідження проблем**

Системний підхід об'єднує природньо-науковий метод, заснований на експерименті, формальному виводі і кількісній оцінці, з розумовим методом, який спирається на образне сприйняття навколишнього середовища і якісний синтез.

В дослідженні будь-якої проблеми можна виділити декілька головних підпроблем.

Виділення проблеми: врахувати все, що потрібно і відкинути те, що не потрібно.

Опис: виразити на єдиній мові, різноманітні по фізичній природі явища та фактори.

Встановлення критеріїв: визначити, що значить "добре" і "погано" для порівняння альтернатив.

Ідеалізація: ввести раціональну ідеалізацію проблеми, спростити її до допустимої межі.

Декомпозиція: знайти спосіб розділення цілого на частини, не втрачаючи властивостей цілого.

Композиція: знайти спосіб об'єднання частин в ціле не втрачаючи властивостей частин.

Рішення: знайти рішення проблеми.

Традиційно ці підпроблеми (кожна з яких може бути в свою чергу розділена на аналогічні частини) розглядаються як етапи рішення; пропонується здійснити їх в той чи іншій, але суворій послідовності і отримати рішення. Процедура може бути багатократною, циклічною, але обов'язково поетапною. Припускається існування збіжного алгоритму рішення. Алгоритм складається з вказівок послідовності і змісту процедур.

Системотехніка приймає як кількісні, так і якісні оцінки, але відмовляється від традиції поетапного рішення і існування послідовного (обчислювального або не обчислювального) алгоритму рішення. Системотехніка виходить з того, що для складних проблем такого алгоритму може не існувати, а людський призначений для рішення дійсно складних проблем.

Системний підхід складається в багатозв'язковості процесу рішення на основі розвитку і уточнення вихідної моделі завдяки взаємодії її складових частин. Підпроблеми розглядаються сумісно, в взаємозв'язку і діалектичній єдності. Розглядати підпроблеми ізольовано і послідовно в відриві одна від одної та, відповідно, від середовища (оскільки кожна з підпроблем є частиною середовища або другої підпроблеми) нерационально і невірно. Розкриття сутності проблеми можливе тільки завдяки вивчення діалектики взаємодії підпроблем.

На перший погляд вирішувати 7 проблем одночасно важче, ніж по черзі, це і справедливо в тому випадку, якщо проблеми незалежні. Якщо проблеми взаємопов'язані, то прийдеться шукати для кожної множини рішень, а потім підбирати такі, які б стикувалися між собою. Для більшості складних проблем підпроблеми, з яких вони складаються, мають велику (якщо не безмежну) кількість рішень, і процедура втрачає зміст, так як потрібно буде діяти наважання. При системному підході, тобто одночасному вирішенні

проблем, вони взаємно обмежують області можливих рішень, відсікаючи більшість неперспективних альтернатив. Це не тільки перспективно, але й економно, так як спрощення може бути більш значним, ніж ускладнення за рахунок роботи із 7-ма підпроблемами.

Послідовний чи послідовно-циклічний (ітераційний) метод є характерним для аксіоматичних теорій, на основі цього методу працюють обчислювальні машини, якщо у їх розпорядженні є відповідна програма чи програма для створення робочої програми.

### **3.4 Теорія і модель**

Основним об'єктом системотехніки є складні системи. Створити загальну теорію складних систем, досить конструктивну для вирішення конкретних задач, не вдається, труднощі тут принципові, гносеологічні. Створити теорію для кожної складної системи не можливо через практичні обмеження в часі та ресурсах.

Питома вага складних систем в діяльності людини росте настільки швидко, що їх створення та обслуговування стає чи не центральною проблемою сучасності. Тому, на відміну від ряду інших прикладних наук, в системотехніці - в певному розумінні - місце теорії зайняла модель.

Різниця між теорією та моделлю умовна, оскільки теорія - також модель природи, але особливо широка та продуктивна модель. Теорія оснований на невеликій кількості аксіом або законів (експериментально доведених фактів). Межі теорії лежать там, де перестають діяти вихідні закони, тому її апарат працездатний в широкій області. Разом з тим закони діють як обов'язкові обмеження, вихід за межі яких є недопустимим. Наслідком теорії є нові, раніше не відомі факти, які виводить теорія. Якщо знаходяться факти, які розходяться з теорією, то необхідно внести уточнення у вихідні закони. При цьому формується нова більш загальна теорія, яка охоплює попередню як частковий випадок.

Модель (в загальноприйнятому значенні терміну) будується на основі емпіричних або передбачуваних даних, які не є ні законами, ні закономірностями, це формальне представлення реальних чи уявних подій, що спостерігаються. Модель дозволяє пов'язати разом багато чисельні процеси і

прослідкувати впливи різних умов, тобто вхідні дані. Апарат моделі - багато чисельне відтворення взаємодії процесів. У деяких випадках модель допомагає виявити нові закономірності, які не виявляються при розгляді відомих закономірностей і вхідних даних через їх складність, громіздкість, не співставність та різномовність.

Перевірка адекватності моделі здійснюється аналогічно перевірці теорії: шляхом порівняння контрольних результатів з експериментом. При неспівпадінні необхідно уточнити модель. Спосіб побудови моделі (досвід, здогад, імітація і т. п.) може бути різним, важливий результат - отримання нових відомостей про об'єкт моделювання. Модель не має апіорних обмежень.

Теорія, якщо вихідні закони вірні та апарат коректний, дає досить надійні результати. Відносно моделі такої впевненості немає, оскільки не відомо, чи вичерпують вхідні дані реальну ситуацію. Тому загальність та довірчість моделі нижчі, ніж в теорії. Проте модель працює оперативніше за теорію, а застосовувати її можна в мало досліджених об'єктах.

Якщо вихідні закономірності відомі, але відсутній апарат їх об'єднання і одержання висновків (а саме з такою ситуацією ми зустрічаємося в складних системах, частини яких описані на мовах різних теорій), модель може працювати як апарат (тобто засіб одержання висновків), і це одна з її переваг з точки зору системотехніки. В модель можна ввести процеси, які протікають в різних по фізичній природі об'єктах, які спостерігаються експериментально і не мають аналітичного опису, - модель відтворить всі аспекти їх взаємодії.

Моделювання в ряді випадків ефективніше та оперативніше аналітичного апарату, оскільки модель дозволяє простіше і швидше одержати кількісний результат. Ще одна з головних переваг моделі полягає в тому, що вона є простішою за об'єкт моделювання, в той час як теорія - в силу своєї загальності - завжди складніша. Впевнено можна стверджувати, що модель - найбільш ефективний засіб спрощення. Простота дається дорогою ціною обмеженості: модель відображає не все, а тільки деякі грані дійсності, тільки визначені властивості об'єкта моделювання. Але в системотехніці це скоріше перевага, ніж недолік, оскільки для

практики потрібні не всі можливі, а конкретні, цілеспрямовані дані. Якщо виникає потреба в одержанні даних, зв'язаних з іншою областю застосування системи, потрібна нова модель. Багатомодельність не завжди недолік, порівняння результатів, одержаних на моделях, які відображають різні грані дійсності складної системи, можуть служити важливим засобом дослідження та пізнання.

Як пізнання, так і створення складної системи перш за все потребує її спрощення шляхом виявлення головніших, визначаючих властивостей з точки зору дослідника або інженера. Інтереси та позиції останніх можуть бути різними, як може бути різним і їх відношення до системи. Системотехніка вимагає врахування відмінностей і модель дозволяє це зробити.

Модель відтворює, імітує складну систему у визначеному діапазоні умов і вимог. Від теорії вимагається охоплення всіх наявних фактів - будь-який достовірний факт, який не відповідає теорії повністю спростовує її. Буває, що одна група фактів пояснюється однією теорією, а друга іншою, але ці теорії повинні не викликати протиріч, взаємодоповнюючими (як, наприклад, теорія відносності і квантова механіка). Теорія описує тільки властивості системи.

Моделі можуть описувати різні сторони об'єкта (група властивостей, які відображають відповідні дійсності або точки зору). Несумісність, протиріччя моделей допустима: це і показник рівня знань, і стимул до розвитку. Це робить модель досить таки прагматичною.

Моделювання в системотехніці реалізує одну з основних ідей Вінера про "чорний ящик" - засіб, про який відомо стан входів і виходів, але невідомо внутрішню будову і принцип дії. Вінер пропонував наступний спосіб розкриття "чорного ящика": поруч з "чорним" ставлять "білий" ящик, з повністю відомим і змінним в широкому діапазоні засобом. На входи обох ящиків подається однаковий за властивостями білий шум, а потім прилад білого ящика змінюється до тих пір, поки вихідні функції співпадуть (рисунок 3.1 ).

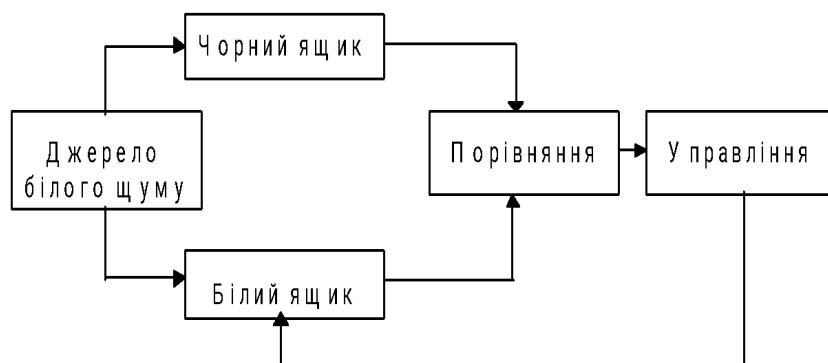


Рисунок 3.1 - Схема розкриття "чорного ящика"

З точки зору дослідника ящики стануть тотожними. Ми говоримо "з точки зору дослідника", оскільки фізичний зміст їх може бути різним: білий ящик - не копія, а модель чорного (вважатимемо, що білий ящик побудований на електричних, а чорний - на механічних компонентах).

Оперуючи складними системами, не можна використовувати в якості засобу ідентифікації білий шум. По-перше, досліджуючи систему, ми не можемо робити з нею все, що забажаємо: систему не можна виводити з робочого діапазону умов. По-друге, при створенні нової, реально не існуючої системи самі умови погано відомі; по-третє, стосовно до складних систем важко визначити, що таке "білий шум". Тому замість білого шуму береться деякий ансамбль важливих для представлення ситуації зовнішній впливів, які уточнюються в процесі моделювання.

Тотожності моделі і системи очікувати не варто, але вона не тільки не потрібна, але і шкідлива, оскільки буде заважати тому рівню спрощення, який потребується. Тому модель може мати інший фізичний принцип і головне: вона має бути "набагато простішою", але "достатньо добре" відображати "властивості, які нас цікавлять", складної системи. Ці три

терміни "набагато простіші", "достатньо добре" і "властивості, що нас цікавлять" в системотехніці мають досить строгий зміст і кількісне представлення. Експеримент Віннера дозволяє усунути суб'єктивну складність (незнання) по крайній мірі в принципі.

Чорний ящик тим "чорніший", чим новіша за призначенням та задумом система, що знову створюється. Як показав Тьюрінг, при складності системи вище деякого рівня її адекватна (повна) модель не може бути зроблена більш простою. Це положення є фундаментальним.

Об'єктивно складні системи не піддаються дослідженню за допомогою експеримента Вінера. Це - "таємничі ящики", здатні цілеспрямовано перебудовувати свою діяльність. Жива істота - типовий приклад такої системи. Закони, які керують поведінкою таємничого ящика, залежать від ситуації.

У розкритті таємничих ящиків моделювання відіграє визначну роль. Основною задачею є виявлення реакцій складної системи на ситуацію і систематизація способів і форм поведінки. В силу обмежених можливостей натурального експеримента (не кажучи вже про допустимість експериментування в ряді випадків, наприклад, над людиною) моделювання виявляється єдиним засобом пізнання. Крім того, що надзвичайно важливо, в моделюванні можна включити неформальні, евристичні фактори, характерні для людського мислення. Строгі теорії покищо до цього не пристосовані.

На рисунку. 3.2 приведена схема розкриття таємничого ящика з допомогою моделювання.

Відносно нової не існуючої системи звичайно відомі (але - неповністю) входи (які визначаються середовищем) і виходи (які визначаються призначенням системи). Експериментувати з такою системою неможливо - її немає, в нашому розпорядженні тільки "білий ящик" - модель, яка відображає задум, яку і потрібно вдосконалити до рівня відповідності заданому призначенню.

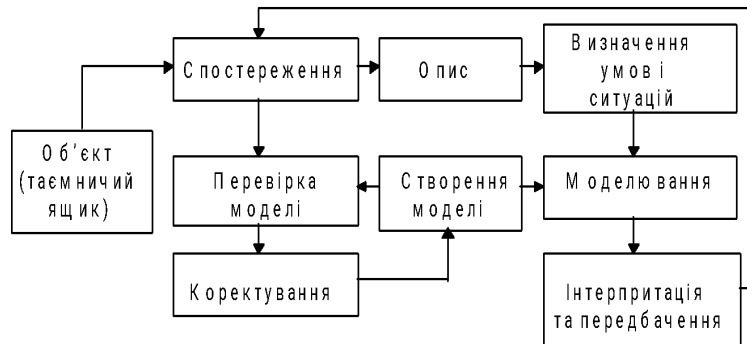


Рисунок 3.2 - Схема розкриття "таємного ящика"

Модель дозволяє перевірити ідеї, які висуваються в процесі розробки, методи і засоби їх реалізації і оцінювати очікуваний результат. Але не тільки. Модель - це самостійно діюча система, хоча і спрощена. Вона поступається теорії в загальності, але переважає її в конкретності і ясності даних, які одержують, цілеспрямованості, вона точніше орієнтує думку розробника в тому напрямку, який відповідає задуму. При використанні кількох моделей з різною цільовою орієнтацією виникає потреба в інтерпретації і узгодженні результатів моделювання, що створює передумови до об'єднання моделей і допомагає створенню теорії. В цьому сенсі модель є предтечею теорії неіснуючої системи, замінюючи гіпотезу і недоступний досліднику експеримент.

### 3.5 Системні моделі

Концепція системотехніки складається в представленні реальних (існуючих) або уявних (створюваних) складних систем посередництвом спрощених описів, тобто моделей, які відображають визначені, найбільш важливі грані дійсності складної системи, і дослідження таких моделей. Формування моделей здійснюється на основі тих даних, які можна одержати про складну систему експериментальними і інтелектуальними засобами. Теорія має справу з ідеалізацією реальності, модель - з самою реальністю.

Один із способів дослідження систем полягає в тому,

щоб замінити складну систему кількома більш простими. Така заміна не адекватна, штучна і може розглядатися як сильне спрощення, допустимість якого потрібно перевіряти кожний раз. Безпосередньої перевірки складна система не допускає і потрібно орієнтуватися на процедури або на аналоги - шлях сумнівний і рідко приводить до мети. Саме тому мозок людини побудований і діє по-іншому.

Системні моделі гомеостатичні. Спробуємо якісно представити собі процес системного гомеостазу. Ніяких засобів поповнення недостаючої і виправлення помилкової інформації система немає. Але в системі існує 3 фактори, в силу яких здійснюється "генерування інформації" і раціональне узгодження підсистем. Ось вони:

1) Описання підсистем надлишкове: для кожної підсистеми задаються значення вхідних і вихідних величин ("входів" і "виходів"); при цьому можливе взаємне поповнення даних і відкидання помилок.

2) Складна система має дуже невеликі області значень вхідних і вихідних величин, які складають її підсистеми, при яких система стійка.

3) Тільки деякі з областей стійкості відповідають функціональному призначенню системи, тобто місцю в надсистемі - системі більш високого рівня. В інших областях система не функціональна, або "нежиттєздатна" і це визначається в процесі системного дослідження (системного моделювання).

В мовному прикладі: 1) синоніми мають нюанси, які дозволяють уточнити дійсність предмету, що описується, з допомогою фраз, в яких використовуються синоніми, при цьому використовується фразеологічний зв'язок між синонімами; 2) правила синтаксису дозволяють здійснити такий зв'язок, при якому фрази будуть граматично правильні (в системному смислі - стійкі); 3) семантичні правила дозволяють виключити правильні, але беззмістовні або явно протиречиві ситуації фрази.

Спільна дія (або застосування) вказаних факторів приводить систему до області функціональної стійкості, яка відповідає ситуації і призначенню системи. Це і є системний гомеостаз.

Конкретна "поведінка" виражається динамічно стійким

(за Ляпуновим) рішенням. Стійких рішень (при одних і тих же початкових та граничних умовах) може бути множина, і те, яке рішення буде реалізоване в схемі рис. 3.2, наперед визначити не можливо. Вірно також і те, що шляхом накладання зовнішніх зв'язків можна обмежити кількість допустимих рішень. Для цього достатньо зробити нестійкими частину рішень (не змінюючи тих рішень, які залишаються). Фізично поява конкретного рішення при системному гомеостазі пояснюється поєднанням і взаємодією незалежних процесів, які формують "випадковість" - рідкісну і тому не описувану стохастичною моделлю. Звідси і необхідність обмежитись встановленням переваги.

Модель охоплює багато принципових властивостей складних систем. Саме уявлення про складність ілюструється структурною матрицею, яка при великій кількості елементів, а також входів та виходів у кожного з елементів, може набути грандіозних розмірів.

Як ми встановили, реакція системи суттєво залежить від об'єму накопиченої інформації. Внутрішня інформація системи постійно поповнюється в результаті зовнішнього впливу і, крім того, через наявність зворотних зв'язків, вона неперервно перерозподіляється між підсистемами. Внаслідок "розтягування" або, навпаки, "стиснення" реакції, що також обумовлено дією зворотніх зв'язків, потоки внутрішньої інформації змінюється, своєрідно відображаючи середовище і "життя" системи, формуються динамічні "інформаційні образи".

Розглянемо механізм цього процесу на рисунку 3.3. Є дві петлі зворотного зв'язку I та II, на кожен з яких впливає середовище. Нехай цей вплив імпульсний. В результаті затримки реакції кожен з імпульсів розтягується, повертаючись через деякий час на вхід в перетвореному вигляді.

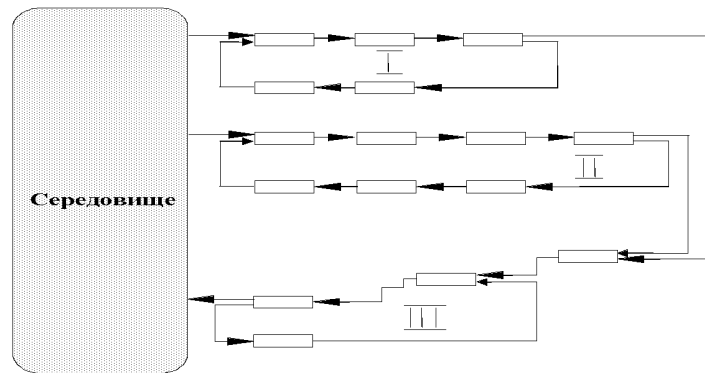


Рис. 3.3 - Формування автономного інформаційного образу за допомогою зворотніх зв'язків

Потім реакції сумуються і поступають на вхід третьої петлі зворотнього зв'язку III, де піддаються додатковим перетворенням. Після всіх позначених процедур вся інформація передається в іншу підсистему. Що сталося:

- 1) запам'ятався зовнішній вплив;
- 2) зовнішній вплив перетворився;
- 3) результати оброблені, підсумувалися, перемножилися чи піддалися більш складним перетворенням;
- 4) результат запам'ятався;
- 5) на вхід однієї із підсистем передалася наступна інформація: а) отримана від середовища, б) перетворена, в) перероблена; в цій підсистемі сформувався новий інформаційний образ.

Оскільки реакція системи на нові впливи, а отже, і її поведінка, залежать від внутрішньої інформації, тобто її образу, поведінка неперервно конформується у відповідності з цілеспрямованістю системи.

Очевидно, що побудова теорії такої системи вимагає обліку як морфології системи, так і передісторії її існування, тобто всієї послідовності зовнішніх впливів, відбитих у внутрішніх інформаційних образах. Однакові за морфологією системи є не тотожними, бо їх передісторія різна. Вони індивідуальні, їх поведінка може бути різною. І теорія їх різна, якщо тільки в принципі можна побудувати теорію, яка

охоплює "історію життя" складної системи в повному сенсі. Потрібно ще врахувати, що, якщо матеріальні та енергетичні впливи на входи системи можуть (по крайній мірі в принципі) строго контролюватися, то про інформаційний вплив цього сказати неможливо, оскільки існуючі методи аналізу інформації далекі від точності та досконалості. Тим більше неможливо врахувати, проаналізувати, описати всю динамічну інформацію, яка циркулює всередині системи, і прогнозувати наслідки її впливу на поведінку системи. Це фактор, який перешкоджає створенню адекватної теорії складних систем.

Спрощення опису системи через модель дозволяє врахувати більшість перешкод та ігнорувати деякі з них. Обмеження розмірів задачі досягається за рахунок врахування цілеспрямованості системи чи цільової функції дослідника, якого цікавлять не всі властивості системи, а тільки ті, які безпосередньо пов'язані із задачею. Практично це означає можливість збільшення структурної матриці, тобто заміни субматриць, що входять до її складу, деякими узагальнюючими функціями, і число таких функцій може бути невеликим.

Аналогічним чином враховуються потоки внутрішньої інформації. При "народженні" системи вона володіє тільки "вкладеною" (генетичною) інформацією, яка існує в структурній матриці. В "дитячому віці" інформація системи невелика, її приріст враховується через модифікації функцій (у відповідному наближенні). По мірі розвитку системи число функцій, які враховують і внутрішню інформацію, збільшується, досягаючи максимуму в період "зрілості" системи.

Збільшені функції повинні відтворювати функціональні процеси, які враховують інформацію. В подальшому функції ускладнюються, а кількість їх перестає зростати. Починаючи з деякого рівня нарощування кількості функцій стає менш економним, ніж їх ускладнення. В процесі приходу "старості" рішення системи рівнянь, в які входять функції через їх ускладнення потребує все більше часу, а області спільного рішення зменшується. Це відповідає тим явищам, які були розглянуті при дослідженні ергодичності.

Таким чином, модель може охопити певний клас властивостей системи (якщо він раніше визначений) з тією

ступінню точності, яка визначається ступінню деталізації моделі, тобто в кінцевому результаті - рівнем знань системи і наявним обчислювальним ресурсом. Це й означає - у відповідності з концепцією системотехніки - заміну теорії системи моделлю, яка враховує позицію дослідника.

При сучасному рівні математики і обчислювальної техніки вирішувати системи диференціальних і інтегральних рівнянь розміром в декілька тисяч чи навіть мільйонів неможливо. Потрібно знайти простіший спосіб опису, використавши обмеженість інтересів користувача.

Розглянемо, як міняється клас системи при її декомпозиції і композиції. Зрозуміло, клас може зберігатися - цей висновок тривіальний. Але може бути по-іншому. З визначення елементу системи слідує

$$(\forall S_1) \left[ (S_1 = \bigotimes_{i=1}^{n_1} S_{1i}) V (S_1 = \bigotimes_{i=1}^{n_2} S_{2i}) V (S_1 = (\bigotimes_{i=1}^{n_1} S_{1i}) \bigotimes (\bigotimes_{i=1}^{n_2} S_{2i})) \right], \quad (3.1)$$

$$(\forall S_2) \left[ (S_2 = \bigotimes_{i=1}^{n_1} S_{1i}) V (S_2 = \bigotimes_{i=1}^{n_2} S_{2i}) V (S_2 = (\bigotimes_{i=1}^{n_1} S_{1i}) \bigotimes (\bigotimes_{i=1}^{n_2} S_{2i})) \right]. \quad (3.2)$$

Це означає, що будь-яка S1- або S2-система складеться з S1-систем, або з S2-систем, або як з одних так і з інших.

тобто, кожна S0-система (складна система) складається з S1-систем або S2-систем.

Особливо важливе значення мають наступні співвідношення, які впливають з властивостей стійкості та ергодичності або цілісності:

$$(\forall S_{0i}) (\exists n^{(1)}, S^{(1)}) \left[ S_1 = \bigotimes_{i=1}^{n^{(1)}} S_{0i} | (S^{(1)}) \right],$$

$$(\forall S_{0i}) (\exists n^{(2)}, S^{(2)}) \left[ S_1 = \bigotimes_{i=1}^{n^{(2)}} S_{0i} | (S^{(2)}) \right]. \quad (3.3)$$

Для будь-якої складної системи (S<sub>0i</sub>-системи) існує таке число n<sup>(1)</sup> і така структурна матриця S<sup>(1)</sup>, що n<sup>(1)</sup>S<sub>0i</sub>-систем, об'єднаних структурною матрицею S<sup>(1)</sup>, перетворюються в

$S_1$ -систему, чи відповідно  $n^{(2)}S_{0i}$ -систем, об'єднаних структурною матрицею  $S^{(2)}$ , перетворюються в  $S_2$ -систему.

"Пониження" класу при об'єднанні систем проходить через вплив взаємних зв'язків, які обмежують свободу вибору  $S_0$ -систем. Саме завдяки цьому ефекту підвищується керованість людини в колективі; формується цілеспрямованість груп і об'єднань людей і підвищується раціональність індивідуальної поведінки.

Опис на рівні елементів дозволяє побудувати системну модель стрибка в розвитку і феномену виникнення нової властивості, автономної просторово-часової метрики і системного гомеостазу. Кумулятивні зворотні зв'язки здатні підсилювати процеси і підвищувати швидкість їх протікання, відводячи систему від точки рівноваги з зростаючою інтенсивністю. При відсутності нелінійних обмежень на розвиток процесу він розвивається лавиноподібно. Зупинка розвитку процесу в цих умовах можлива тільки при виникненні в системі нової властивості, яка створює стабілізуючі зворотні зв'язки і обмеження. Це і є стрибок. З "внутрішньої точки зору" системи ніякого стрибка немає: процес розвивається плавно, хоча й швидко. У зовнішньому масштабі час стрибка може рахуватися рівним нулю (у порівнянні з тривалістю зовнішніх процесів). Аналогічні явища можуть протікати в просторі, формуючи автономну просторово-часову метрику. Спільні дії стабілізуючих і кумулятивних зворотніх зв'язків створює системний гомеостаз, результатом якого є "феномен новизни".

Опис системи дає можливість обчислити розподіл ймовірностей поведінки. Але як виміряти тенденцію поведінки, отримати "покази стрілок"? На унікальному об'єкті провести відповідну серію експериментів неможливо. Відповідь дає модель системи. Багато разів програючи суттєві ситуації, можна отримати розподіл - тепер вже математичних ймовірностей, до яких в цьому випадку зводяться фізичні ймовірності.

Складна система може мати будь-яку природу, але її модель повинна бути заснована на фізично вимірюваних величинах і фізичних інваріантах в деякій, відповідаючій задачам дослідника, системі розмірностей. Після створення моделі дослідник має справу з нею.

Кількість змінних в моделі може бути дуже великою і рішення стає недосяжним в реальні строки. Один із способів економії змінних полягає в представленні проблеми чи системи при допомозі трьох описів: морфологічного, функціонального і інформаційного. Це дозволяє, не втрачаючи цілі і не елімінуючи сутності, а варіюючи тільки точністю, маніпулювати змінними.

Формування складності тісно пов'язане з процесами самоорганізації, які підвищують складність системи, одночасно підсилюючи її здатність до адаптації і взаємодії із середовищем.

Спробуємо більш предметно показати феноменальну сутність системної моделі і її відмінність від теорії. Модель не опирається на аксіоми, оскільки (в силу постулату доповнюваності) апріорі невідомо, які аксіоми справедливі. Модель системи включає тільки імена та відношення, які відображають інтерес дослідника. Відношення підсилюються емпірично або знаходяться на основі різних теорій з різних областей науки, які не охоплюються єдиною теорією. Особливо складно, а в багатьох випадках - неможливо описати в рамках однієї теорії зв'язки між компонентами різної фізичної природи. Це означає, що побудова теорії системи неможлива (чи не варта уваги).

### 3.6 Функції і характеристики складних систем

**Функція** – правило отримання результатів, предписаних призначенням системи. Функція системи описується за допомогою таких понять, як відношення між змінними, векторами, множинами. Функція встановлює, що робить система для досягнення поставленої мети безвідносно до фізичних засобів (елементів, зв'язків), які складають систему, і не визначає, як побудована система.

Системи вивчаються на різних рівнях абстракції з використанням різних підходів, довільний з яких дає відповідь на окреме питання. Тому функції можуть описуватись з різним ступенем деталізації.

**Функціонування** – реалізація функції системи.

**Якість функціонування** оцінюється за допомогою понять : *ефективність, показник ефективності, оптимальність.*

### **3.7 Контрольні запитання до третього розділу**

1. Що є емпірико-інтуїтивний компонент наукового пізнання?
2. Що є дедуктивно-аксіоматичний компонент наукового пізнання?
3. Що є конструктивний компонент наукового пізнання?
4. Що є асоціативний компонент наукового пізнання?
5. Зміст головної практичної задачі системотехніки?
6. Що є функцією системи є:
7. За допомогою яких понять оцінюється якість функціонування системи?
8. В чому полягає задача синтезу?
9. Поняття абстрактний синтез?
10. Поняття структурний синтез?
11. Що є вихідною інформацією в задачах синтезу?
12. В чому полягає задача аналізу?
13. При яких умовах доцільне проведення натурного експерименту?

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

### 4.1 Основні задачі дослідження систем (аналіз і синтез)

**Задача синтезу** – полягає в знаходженні структури і основних параметрів системи по заданих властивостях системи.

**Задача аналізу** – по відомій структурі і відомим параметрам вивчається поведінка системи, тобто досліджуються її властивості і характеристики.

**Синтез** – це процес породження функцій і структур, необхідних і достатніх для отримання визначених результатів.

**Абстрактний синтез** – це синтез функції, оскільки виявляючи функції, які реалізуються системою, визначають деяку абстрактну систему, про яку відомо тільки те, що вона буде робити.

**Структурний синтез** – породження структури, яка реалізує задані функції.

Вихідною інформацією в задачах синтезу є наступні відомості :

функція системи – як правило представляється переліком задач, розв'язок яких покладено на систему;

перелік обмежень на характеристики системи (часове обмеження, ..);

критерій ефективності, який встановлює спосіб оцінки якості системи в цілому.

Аналіз – процес визначення властивостей, притаманних системі.

**Типова задача аналізу** - відомі функції і характеристики елементів системи (підсистем) і визначена її структура; необхідно визначити функції або характеристики самої системи як сукупності.

Показники, які характеризують властивості системи, можуть бути визначені:

1) Шляхом обробки результатів натурного експерименту.

2) В результаті фізичного або математичного моделювання процесів функціонування системи.

Проведення натурного експерименту доцільне при виконанні наступних умов :

1) Система може функціонувати в режимах, які

допускають досягнення цілі експерименту.

2) Є можливість фіксації всієї необхідної інформації без суттєвих затрат.

3) Фіксація і обробка інформації в реальному масштабі часу задовольняють поставленим термінам експерименту.

У випадку складних систем ці умови часто не виконуються, тому найбільш ефективним засобом аналізу складних систем є математичне моделювання.

Задачі аналізу включають три етапи :

1) необхідно визначити причинно-наслідкові зв'язки, притаманні об'єкту, що аналізується, і побудувати концептуальну (причинно-наслідкову) модель об'єкта, яка виявляє сутність процесів, які відбуваються в системі. При побудові концептуальної моделі встановлюють наявність залежності між характеристиками процесів і параметрами об'єкта, які необхідно використати в моделюванні;

2) на базі концептуальної моделі будується математична модель, яка виявляє кількісні співвідношення між характеристиками і параметрами. Дослідження цих співвідношень дозволяють виявити властивості об'єкта, граничні і екстремальні значення характеристик, взаємозв'язки між ними;

3) перевірка достовірності моделі і отримання на її базі теоретичних результатів. Це здійснюється шляхом співставлення модельних залежностей з даними експерименту або даними, отриманими на основі інших моделей.

На відміну від задач аналізу, де характеристики процесів визначені як функції параметрів системи, при синтезі розв'язується задача вибору параметрів системи, при яких задовольняються задані вимоги до характеристик процесів, тобто розв'язок задачі синтезу зводиться до оптимізації системи по заданому критерію ефективності з врахуванням обмежень на характеристики і параметри.

#### 4.2 Моделі і моделювання систем

Теоретичною базою моделювання є теорія подібності.

**Подібність** – це взаємно однозначна відповідність (ізоморфізм, ін'єкція) між двома об'єктами, при якій відомі методи переходу від параметрів одного об'єкта до параметрів іншого, а математичний опис цих об'єктів може бути

перетворений до тотожного.

**Моделювання** – процес представлення об'єкта дослідження адекватною йому моделлю і проведення досліджень моделі для отримання інформації про об'єкт досліджень.

**Модель** – фізична або абстрактна система, яка адекватно представляє об'єкт дослідження.

Види моделей :

- **фізична** – утворюється з сукупності матеріальних об'єктів; при її побудові використовуються фізичні властивості об'єктів, при чому природа цих об'єктів не обов'язково та ж сама, що і в вихідному об'єкті;

- **абстрактна** – модель, в якій компонентами є поняття: словесний опис, схеми, алгоритми, програми, математичний опис.

Серед абстрактних моделей розрізняють:

- гносеологічні (направлена на вивчення об'єктивних законів природи);

- сенсуальні (почуття емоції);

- інформаційні (прийом, обробка, передача інформації);

- концептуальні (абстрактні, які виявляють причинно-наслідкові зв'язки);

- математичні моделі (на мові математики).

Один об'єкт може бути описаний різними абстрактними концептуальними моделями.

В залежності від ступеня деталізації можна виділити три рівні :

1) Рівень структурного, або імітаційного моделювання.

Модель представляється складом елементів об'єкта на найнижчому рівні структурування у вигляді деякої множини:  $V = \{\Pi_1, \dots, \Pi_n\}$ . Властивості і параметри елементів представляються описом  $E_i(\Pi_i)$ , а також структурними відношеннями між елементами і описами. До структурних відносяться бінарні відношення ієрархічної підлеглості, відношення порядку, спряженості, функціональних зв'язків. Імітаційні моделі будуються у вигляді алгоритмічних моделей на основі теорій множин, графів, масового обслуговування, алгоритмів, формальних граматик, статистичного моделювання.

2) **Рівень логічного моделювання** - моделюються

функціональні зв'язки елементів і вузлів складних систем. Моделі представляються у вигляді рівнянь безпосередніх зв'язків і будуються з застосуванням апарата двозначної логіки.

**3) Рівень кількісного моделювання** - моделі представляються у вигляді алгебраїчних або інтегро-диференційних рівнянь і досліджуються з застосуванням методів функціонального аналізу, теорії диференційних рівнянь і математичної статистики.

Сукупність моделей трьох рівнів являє собою ієрархічну структуру, яка розкриває взаємозв'язок різних описів об'єкта і забезпечує системний зв'язок його елементів і властивостей на всіх стадіях досліджень.

Об'єкт моделюється на ранньому етапі дослідження, коли топологічною моделлю служить орієнтований граф (ортограф):

$$G(V,E), \quad E \subseteq V \times V, \quad (4.1)$$

де  $V$  – множина вершин.

Складання графа базується на описі складу (множина вершин  $V$ ) і способу дії об'єкта (множина дуг). Вершинами графа, як правило, є функціонально завершені блоки об'єкта, а ребрами – інформаційні зв'язки між ними.

На логічному рівні довільній множині, булевій матриці бінарних відношень (можливість суміжності або інцидентів) або структурному графу ставлять у відповідність набори логічних відношень між елементами, які в них входять. Логічні співвідношення відображають причинно-наслідкові зв'язки, які описують послідовність зміни стану об'єкта з врахуванням зміни інших об'єктів.

Кількісне моделювання - довільному елементу множини, вершині графа, булевій матриці або логічній змінній ставиться у відповідність алгебраїчна або інша кількісна змінна, і логічні відношення переходять у кількісні.

#### 4.2.1 Математичні моделі

Математичну модель можна розглядати як деякий оператор, який ставить у відповідність внутрішнім параметрам системи  $X$  сукупність зовнішніх параметрів  $Y$ .

Вид функціональних зв'язків залежить від принципу дії системи, а зміст понять "внутрішній" і "зовнішній" визначається фізичною сутністю і способом використання.

Так, як отримати абсолютно ізоморфну математичну модель неможливо, то шляхом формалізації отримується спрощена і математична модель, яка відображає тільки основні властивості системи.

Стан системи у будь-який момент часу визначається вектором стану системи. В залежності від специфіки зв'язків характеристик станів системи з її параметрами розрізняють детерміновані моделі (в заданий момент часу характеристики системи однозначно визначені) та імовірнісні (стохастичні) моделі, де можна визначити тільки розподіл характеристик станів системи по заданим ймовірнісним розподілам її параметрів, вхідних сигналів, початкового стану.

По подальшому використанню математичні моделі поділяються на аналітичні і імітаційні.

Кожна модель зберігає знання в належній формі. При цьому запам'ятовування знань пов'язано з зменшенням надлишковості. Тому довільна модель несе також мовну функцію. Зміст знань є семантичною стороною, а способи, за допомогою яких описуються знання – синтаксичною.

### 4.3 Опис систем

Нехай визначені структурні елементи системи  $E_i$  ( $i = 1, N$ ), входи  $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  і виходи  $y_i = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  кожного структурного елемента, а також зв'язки між елементами.

Залежність виходу  $y$  від входу  $x$ , для елемента однозначна і визначається операторним рівнянням

$$y = T(x) \quad (4.2)$$

де  $T$  — оператор перетворення, або функціональним рівнянням

$$y(t) = f(t, x(t - \tau(t))), \quad (4.3)$$

де  $f$  — неперервна і, хоча б, однократно диференційована функція;  $\tau = \{\tau_i\}$  — вектор-функція запізнь (часу перетворення). В окремому випадку, коли функції перетворення і затримки постійні,

$$y(t) = f(x(t-\tau)) \quad (4.4)$$

Якщо один із типів елементів — "чиста затримка" на час  $\tau$ , то

$$y(t) = x(t-\tau) \quad (4.5)$$

Передбачається, що в одному елементі затримки настільки малі, що (через гладкість  $f$ ) за час максимальної затримки  $\tau_m = \max(\{\tau_i\})$  зміну  $y$  можна вважати лінійною:

$$\Delta y(t) = f(x(t)) - f(x(t-\tau)) = f(x) \Delta x; \quad (4.6)$$

$$y(t) = \frac{d y(t)}{dt} \approx \frac{y(t) - y(t-\tau_m)}{\tau_m},$$

$$x(t) = \frac{d x(t)}{dt} \approx \frac{x(t) - x(t-\tau_m)}{\tau_m}.$$

Множину входів і виходів елементів, пов'язаних між собою, будемо називати внутрішньою частиною системи. Множину входів і виходів, зв'язаних із середовищем, будемо називати його поверхнею. Будемо вважати, що процеси на поверхні системи (тобто процеси взаємодії із середовищем), можна уявити неперервними і хоча б однократно диференційованими функціями (фізично "стрибоподібна" взаємодія не реалізується).

Зв'язок між елементами  $E_r$  і  $E_s$  запишемо у вигляді  $x^{(s)}_j = y^{(r)}_i$  (зв'язки короткозамкнені), сукупність зв'язків можна подати матрицею  $S_{rs}$  розміром  $n \times m$  з елементами 1 або 0. При відсутності зв'язків  $S_{rs} = 0$ .

Замкнене коло зв'язків відображається системою векторних рівностей

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^{(2)} &= S_{12} \mathbf{y}^{(1)}, \quad \mathbf{x}^{(3)} = S_{23} \mathbf{y}^{(2)}, \dots \\ \dots, \mathbf{x}^{(1)} &= S_{r1} \mathbf{y}^{(r)}. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Один елемент може бути зв'язаний з декількома іншими елементами. При відсутності взаємодії між елементами  $0 = S_{rs}y^{(r)}$ .

Оскільки виходи та входи одного і того ж елемента не можуть бути зв'язаними, всі зв'язки системи можна описати квадратною матрицею розміром  $N$  з субматрицями  $S_{rs}$  в якості недіагональних елементів, яка називається **структурною матрицею системи** і має вигляд

$$S = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & 0 & \dots & S_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{N1} & S_{N2} & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.8)$$

Мінімальна кількість зв'язків дорівнює  $N - 1$ . Всі зворотні зв'язки подані субматрицями  $S_{rs}$ , які знаходяться нижче діагоналі, для цих субматриць  $s < r$ .

При об'єднанні  $M$  систем в систему більш високого порядку структурна матриця надсистеми має вигляд

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1M} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{M1} & S_{M2} & \dots & S_{MM} \end{bmatrix}. \quad (4.9)$$

Враховуючи  $x_r^{(s)} = S_{rs}T_r(x^{(r)})$  і позначивши  $R_{rs} = S_{rs}T_r$ , отримаємо

$$x_r^{(s)} = R_{rs}(x^{(r)}) \quad (4.10)$$

або

$$T_s(x_r^{(s)}) = T_s S_{rs}(y^{(r)}) \quad (4.11)$$

і, отже,

$$y_r^{(s)} = T_s S_{rs}(y^{(r)}) \quad (r, s = \overline{1, N}, r \neq s). \quad (4.12)$$

Відповідно, прийнявши  $P_{rs} = T_s S_{rs}$ , отримаємо

$$y_r^{(s)} = P_{rs}(y^{(r)}) \quad (r, s = \overline{1, N}, r \neq s). \quad (4.13)$$

Позначимо сукупність входів всіх елементів через

$$X = (x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(N)}), \quad (4.14)$$

а сукупність всіх виходів — через

$$Y = (y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(N)}). \quad (4.15)$$

Ці вектори входів та виходів системи еквівалентні квазідіагональним матрицям:

$$X = \left\| \begin{array}{cccc} \mathbf{x}^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mathbf{x}^{(2)} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{x}^{(N)} \end{array} \right\|, \quad (4.16)$$

$$Y = \left\| \begin{array}{cccc} \mathbf{y}^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mathbf{y}^{(2)} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{y}^{(N)} \end{array} \right\|. \quad (4.17)$$

Матриця  $X$  має  $N$  рядків і  $\sum_{r=1}^N m_r$  стовпчиків, а матриця  $Y$  —  $N$  рядків і  $\sum_{r=1}^N n_r$  стовпчиків;  $m_r$ ,  $n_r$  — відповідно число входів та виходів  $r$ -го елемента.

Рівність (4.10) і (4.12) можна переписати наступним чином:

$$\left\| \begin{array}{cccc} 0 & \mathbf{x}_1^{(2)} & \dots & \mathbf{x}_1^{(N)} \\ \mathbf{x}_2^{(N)} & 0 & \dots & \mathbf{x}_2^{(N)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{x}_N^{(1)} & \mathbf{x}_N^{(2)} & \dots & 0 \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{cccc} 0 & R_{12}(\mathbf{x}^{(1)}) & \dots & R_{1N}(\mathbf{x}^{(1)}) \\ R_{21}(\mathbf{x}^{(2)}) & 0 & \dots & R_{2N}(\mathbf{x}^{(2)}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{N1}(\mathbf{x}^{(N)}) & R_{N2}(\mathbf{x}^{(N)}) & \dots & 0 \end{array} \right\|, \quad (4.18)$$

$$\left\| \begin{array}{cccc} 0 & \mathbf{y}_1^{(2)} & \dots & \mathbf{y}_1^{(N)} \\ \mathbf{y}_2^{(1)} & 0 & \dots & \mathbf{y}_2^{(N)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{y}_N^{(1)} & \mathbf{y}_N^{(2)} & \dots & 0 \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{cccc} 0 & P_{12}(\mathbf{y}^{(1)}) & \dots & P_{1N}(\mathbf{y}^{(1)}) \\ P_{21}(\mathbf{y}^{(2)}) & 0 & \dots & P_{2N}(\mathbf{y}^{(2)}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1}(\mathbf{y}^{(N)}) & P_{N2}(\mathbf{y}^{(N)}) & \dots & 0 \end{array} \right\|. \quad (4.19)$$

Стовпчики лівих частин (4.18) та (4.19) являють собою складні вектори, які визначають нові стани входів та виходів відповідно, що виникли в результаті взаємодії елементів. Позначимо ці стовпчики  ${}_1\mathbf{x}^{(1)}, {}_1\mathbf{x}^{(2)}, \dots, {}_1\mathbf{x}^{(N)}$  і  ${}_1\mathbf{y}^{(1)}, {}_1\mathbf{y}^{(2)}, \dots, {}_1\mathbf{y}^{(N)}$  і крім цього  $\mathbf{X} = ({}_1\mathbf{x}^{(1)}, {}_1\mathbf{x}^{(2)}, \dots, {}_1\mathbf{x}^{(N)})$ ,  $\mathbf{Y} = ({}_1\mathbf{y}^{(1)}, {}_1\mathbf{y}^{(2)}, \dots, {}_1\mathbf{y}^{(N)})$ . Тоді

(4.18) і (4.19) можна переписати:

$${}_1\mathbf{X} = R(\mathbf{X}); \quad {}_1\mathbf{Y} = P(\mathbf{Y}). \quad (4.20)$$

Тут  $R, P$  — оператори;  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$  — початкові; а  ${}_1\mathbf{X}, {}_1\mathbf{Y}$  — кінцеві стани всіх виходів і входів всіх елементів системи.

Враховуючи (4.9), (4.10) і використовуючи квазідіагональні матриці (4.16) та (4.17), отримаємо

$${}_1\mathbf{X} = {}_1\mathbf{Y}S, \quad (4.21)$$

де  $S$  — структурна матриця системи.

Представимо оператори матрицями виду:

$$R = \left\| \begin{array}{cccc} 0 & R_{12} & \dots & R_{1N} \\ R_{21} & 0 & \dots & R_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{N1} & R_{N2} & \dots & 0 \end{array} \right\|.$$

$$P = \left\| \begin{array}{cccc} 0 & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{21} & 0 & \dots & P_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & 0 \end{array} \right\|,$$

$$T = \left\| \begin{array}{cccc} T_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & T_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & T_N \end{array} \right\| \quad (4.22)$$

і запишемо  $R$  і  $P$  у вигляді добутків:

$$R = TS; \quad P = ST. \quad (4.23)$$

Тоді

$${}_1\mathbf{X} = TS(\mathbf{X}); \quad {}_1\mathbf{Y} = ST(\mathbf{Y}). \quad (4.24)$$

Отримані співвідношення відображають причинно-наслідкові зв'язки між початковими  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$  і кінцевими  ${}_1\mathbf{X}, {}_1\mathbf{Y}$  станами всіх входів і виходів всіх елементів системи. Це дає можливість прослідкувати функціонування системи та визначити зв'язки, завдяки яким можливе управління системою.

Повернемося до функціонального представлення операторів і відмінність від лінеарізованого розгляду приймемо більш загальні передумови.

Перетворення в елементах можуть здійснюватися з змінними затримками  $\tau(t, x(t))$ .

Вектор – функції  $\{f\}$  істотно нелінійні і можуть змінюватися в часі.

Структура системи (тобто зв'язки між елементами) можуть змінюватися в часі:  $S = \|\sigma_{kl}\|$ ,  $\sigma_{kl} \in (1, 0)$ ,  $\sigma_{kl} = \sigma_{kl}(t)$ .

В процесі функціонування системи декотрі її елементи можуть руйнуватися (дисимілюватися в середовище), крім того система може приєднувати (асимілювати) частину елементів середовища шляхом формування нових зв'язків з ними, тобто  $N = N(t)$ .

Пункти 1-4 можуть здійснюватися : а) по апіорній програмі, що діє від “народження” системи, або вступаючій в дію в декотрий момент часу; б) в залежності від значень входів внутрішньої частини; в) під впливом середовища. Момент включення апіорної програми зміни  $\{f\}$ ,  $S$ ,  $N$  буде  $t_n = t_n(x(t))$ . Розглянемо один замкнений ланцюг зв'язку  $x_1^{(1)} \rightarrow x_1^{(1)}$  внутрішньої частини системи.

$$\begin{aligned} y_1^{(1)}(t_1) &= y_1^{(1)}(t + \tau_1^{(1)}) = f_1^{(1)}(x^{(1)}(t + \tau^{(1)})) = x_1^{(2)}(t_1), \\ y_1^{(2)}(t_2) &= y_1^{(2)}(t + \tau_1^{(2)}) = f_1^{(2)}(x^{(2)}(t + \tau^{(2)})) = x_1^{(3)}(t_2), \\ y_1^{(3)}(t_3) &= y_1^{(3)}(t + \tau_1^{(3)}) = f_1^{(3)}(x^{(3)}(t + \tau^{(3)})) = x_1^{(4)}(t_3), \end{aligned}$$

$$\dots \dots \dots y_1^{(k)}(t_k) = x_1^{(1)}(t_k) = y_1^{(k)}(t_{k-1} + \tau_1^{(k)}) = f_1^{(k)}(x^{(k)}(t_{k-1} + \tau^{(k)}))$$

чи

$$\begin{aligned} x_r^{(r)}(t) &= f_r^{(k)}(f_r^{(k-1)}(\dots(f_r^{(r)}(x^{(k-1)}(t - \tau^{(k)}))\dots)), \\ x^{(r)}(t) &= \Phi_r(x^{(r)}(t - \tau_r)), \end{aligned}$$

де  $r$  відноситься до всіх зворотніх зв'язків  $y^{(1)}$  і  $x_1^{(1)}$ , звідси  $X = \Phi(X(t - \tau))$ . (4.25)

Нас цікавлять в першу чергу зміни станів системи, тому знайдемо похідну:

$$X(t) = \frac{\partial \Phi}{\partial X} X(t - \tau) + \frac{\partial \Phi}{\partial t} X(t - \tau). \quad (4.25)$$

Враховуючи (4.25), отримуємо

$$X(t) = \frac{1}{\tau_m} \frac{\partial \Phi}{\partial X} [X(t) - X(t - \tau)] + \frac{\partial \Phi}{\partial t} X(t - \tau) \quad (4.26)$$

або

$$X(t) = F(t, X(t), X(t - \tau)); \quad (4.28)$$

це – фундаментальне рівняння складної системи, враховуюче

нелінійність (через  $\{f\}$ ,  $\{f\}$ ), багатозв'язковість, тобто значну кількість ступенів свободи (через  $S$ ), пам'ять (через відхилення аргументу на час  $T$ ), асиміляцію, дисиміляцію і розвиток на основі вкладених (генетичних) програм (через залежність від часу ( $\{f(t)\}$ ,  $S(t)$ ,  $N(t)$ )).

В рівнянні (4.27) "колишнє" системи – її поведінку на інтервалі  $T$  до моменту  $t=0$  виражено через початкові функції  $Y(t)=\psi(t)$  при  $-T \leq t \leq 0$ . Система початкових функцій може бути перевизначеною, тобто  $T \geq \max\{T\}$ , і рішення останнього рівняння повинно це враховувати.

В реальних системах  $F$  може мати високу степінь нелінійності. Але для розуміння феномена складності і виявлення специфіки складних систем достатньо квадратичного наближення при постійних затримках  $\tau$ . Крім того, складний вектор  $X$  включає всі входи системи і розмір останнє рівняння може виявитися неосяжно великим. Звичайно основні функції системи, що цікавлять дослідника чи користувача, описуються невеликою кількістю змінних. Для зменшення числа змінних можна використати їх факторизацію. З врахуванням цих значень останнє рівняння переписеться в наступному узагальненому вигляді:

$$x_i(t) = \sum_{k=1}^L a_{1k}(t)x_k(t) + \sum_{k=1}^L a_{2k}(t)x_k(t-\tau_{1k}) + \sum_{k,l=1}^L b_{1l}(t)x_k(t) + \sum_{k,l=1}^L b_{2l}(t)x_k(t-\tau_{2k})x_L(t-\tau_{2L}), \quad (4.29)$$

( $i, k, l=1, L$ ,  $L$  – число нових змінних) з початковими функціями  $x_i(t)=\phi_i(t)$  при  $-T \leq t \leq 0$ .

#### 4.4 Дослідження дій та прийняття рішень

У загальному, процес розв'язку проблеми може бути поділений на деякі елементарні акти, які називаються **процедурами**. Очевидно, що процедури повинні бути якимось чином взаємопов'язані між собою. Тобто необхідно визначити їх порядок, передачу інформації, умови початку і закінчення виконання. Виконання сукупності процедур приводить до того, що кожна окрема процедура не може привести до

розв'язку поставленої задачі. Таким чином, очевидні ознаки системи, у яких в якості окремих елементів виступають процедури. Тому процес розв'язку можна розглядати як деяку систему процедур, яка володіє внутрішньою організацією, структурою, ієрархією, управлінням. Ці системи відносяться до класу цілеспрямованих систем з явно сформованою метою — розв'язок поставленої задачі. Група процедур, яка володіє деякою цілісністю і є відносно незалежною, називається **операцією** (модулем).

Операція завжди складається з декількох процедур, але, як і модуль, може складатися з операцій більш низького рівня. Якщо нема необхідності розрізняти процедуру і операцію, то вони називаються **діями**, а процес розв'язку буде представляти собою **систему дій**.

Організація процесу розв'язку задачі формально можна записати як систему:

$$R: \{\{M\}, \{x\}, F\}, \quad (4.30)$$

де  $\{M\}$  — множина дій;  $\{x\}$  — множина зв'язків між діями;  $F$

— формулювання задачі (мета).

Процес розробки формально може бути представлений множиною дій по розв'язку проблеми, множиною зв'язків між діями і формулюванням поставленої задачі. Очевидно, що цей опис відповідає визначенню системи.

Будь-яка дія має три основні характеристики:

- мета дії;
- опис дії;
- спосіб виконання дії.

Мета дії (призначення), в залежності від ситуації, є відповіддю на питання “Навіщо?”. Опис дії або уявлення про її здійснення є відповіддю на питання “Що робити?”. Спосіб виконання дії (вміння і можливість виконання) є відповіддю на питання “Як?”. Коротко ці питання-характеристики можуть бути представлені послідовністю: “Навіщо?”, “Що?”, “Як?”. Існують ситуації, коли одна або декілька з цих характеристик може бути опущена.

Ситуація, коли можна обмежитись тільки питанням типу “Як?”, виникає при розв'язку задач по інструкції, яка не допускає відхилень. Тобто, якщо є точний опис дій і є

впевненість, що він підходить до розв'язку даної задачі. Наприклад, стандарт на оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу, схем, використання стандартних процедур і т.п. Слід відмітити, що всі можливі інструкції зручні тільки в середині жорстко фіксованих обмежень. Їх використання призводить до економії зусиль і часу в ситуаціях, коли нема необхідності в розумінні процедур, що виконують.

Ситуація, де нехтується питання “Навіщо?”, виникає при організації дій на основі перебирання (метод спроб і помилок). На практиці такий спосіб вибору дії використовується, коли перебір відносно малий і більш зручний, ніж дослідження відповіді на запитання “Навіщо?”. Слід відмітити, що вибір дії (рішення) перебиранням, як правило, присутній у будь-якому дослідженні, яке проводить людина, але його можливості завжди різко спадають із зростанням складності задачі.

Нехтування питанням “Як?” — нехтування аналізом того, чи можна реалізувати дану дію на практиці. Такі дії та їх сукупності називаються *абстрактною схемою* (неконструктивним підходом). До дій без “Як?” відносяться і ті, які на теперішній момент невідомо як виконати — нема технології, ресурсів, методики розв'язку та ін.

Виходячи з вище сказаного, при вирішенні будь-якої проблеми, починаючи від глобальної і переходячи до нижніх ієрархічних рівнів, проблеми повинні бути чітко сформульовані, а характеристики дій — відображені у структурі викладання матеріалу записки. При цьому, слід враховувати систему локальних цілей, яка формується при отриманні відповідей на систему запитань “Навіщо?”. Як правило, характеристики дій на верхньому ієрархічному рівні формують у завданні на курсову роботу разом із керівником. А загальна причиново-наслідкова структура виконання дій може бути представлена у вигляді орієнтованого графа або мереж Петрі.

#### **4.5 Методика формалізації об'єкта**

В практичних задачах, на відміну від задач математичних, не завжди буває ясно, що задано і що необхідно

довести. Як правило, задається реальний об'єкт (явище природи, фізичний, біологічний або виробничий процес). Основні етапи побудови і аналізу реальних об'єктів подано на рисунку 4.1.

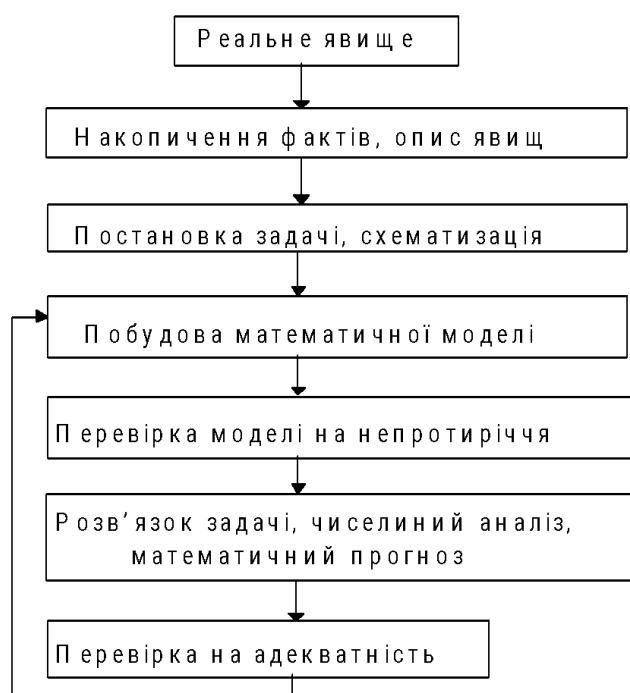


Рис. 4.1 - Основні етапи побудови і аналізу моделей

Процес формалізації об'єкта складається з трьох етапів :

- побудова змістовного опису реального процесу (об'єкта) – дескриптивна модель;
- побудова формалізованої схеми (присутнє не завжди);
- розробка математичної моделі.

**Дескриптивна модель** – словесний опис закономірностей, які характеризують процес, який досліджується, а також постановка прикладної задачі або чітке

формулювання мети досліджень (як правило складається спеціалістом в конкретній області без активної участі системотехніка). Обов'язково повинна містити перелік залежностей, які підлягають оцінці.

Формалізована схема здійснюється, якщо неможливий безпосередній перехід від дескриптивної моделі до математичної. Може бути словесною, але містити строгий формальний опис об'єкта. Тут вибирається сукупність характеристик станів і параметрів об'єкта, формується математична мета досліджень. Вихідна інформація представляється у вигляді графіків, таблиць.

#### **4.6 Проблеми моделювання складних систем.**

По змісту модель складної системи (СС) стає частиною системи, тобто може бути віднесена до класу СС. Їй властиво наступне :

1) Мета функціонування визначається ступенем цілеспрямованості поведінки моделі. Моделі можна поділити на одно цільові (розв'язується одна задача) і багатоцільові (відображає ряд сторін функціонування об'єкта).

2) Цілісність і складність, тобто модель, що створюється, є цілісною системою, яка включає велику кількість складових частин, які знаходяться у складній взаємодії одна з одною.

3) Невизначеність – проявляється у можливості досягнення поставленої мети, яка визначається достовірністю вихідної інформації. Невизначеність в ряді випадків дозволяє оцінити кількість управляючої інформації.

4) Адаптивність – можливість пристосування до різних зовнішніх збурень. Тут важливим є питання стійкості моделей до збурень, живучості і надійності.

5) Універсальність – засоби і алгоритми розроблені для опису однієї проблеми, мають багатоцільовий характер.

6) Керованість моделі – можливість забезпечувати керування з боку дослідника.

##### **4.6.1 Методи моделювання**

Існують наступні методи моделювання:

- аналітичний;

- чисельний;
- імітаційний;
- натурний;
- напівнатурний.

**Аналітичний метод** - полягає в перетворенні символічної інформації, записаної мовою математичного апарату. Необхідні залежності виводяться з математичної моделі послідовним застосуванням відповідних математичних правил.

*Недолік:* неможливість розв'язку деяких задач в аналітичній формі.

*Переваги:* загальність, легкість обробки та інтерпретація результатів.

**Чисельний метод** - базується на побудові кінцевої послідовності дій над числами.

*Недолік :* розв'язок має частковий характер.

*Перевага :* дозволяє розв'язати більшість задач.

**Імітаційний метод** - використовується, коли характер процесів настільки складний, що побудова аналітичної і чисельної моделей є досить важкою задачею. Модель являє собою змістовний опис у формі алгоритму (з синтаксичного боку це програма для ЕОМ). Процес побудови і аналізу імітаційної моделі з застосуванням методів статистичних випробувань називають статистичним моделюванням.

**Натурне моделювання** – проведення досліджень на реальному об'єкті з наступною обробкою результатів експерименту на основі теорії подібності.

**Напівнатурне моделювання** – використовують комбінаційні моделі, які включають математичні співвідношення, які описують функції реальних елементів, а також реальні фізичні елементи.

#### 4.6.2 Методи спрощення моделей

Можна виділити наступні методи спрощення моделей:

- 1) Членування складної системи на ряд більш простих підсистем (декомпозиція);
- 2) Виділення суттєвих властивостей і впливів з врахуванням не суттєвих в параметричній формі (метод

макромоделювання);

3) Лінеаризація нелінійних процесів в деякій області зміни змінних методом малих відхилень;

4) Приведення схеми з розподіленими параметрами до системи з зосередженими параметрами. Зосередженні параметри залежать лише від часу (звичайні диференціальні). Розподілені параметри залежать від часу і координат (описується диференціальними в часткових похідних).

5) Нехтування динамічними властивостями системи.

*Декомпозиція* - кінцевою метою є розбиття простору змінних  $\{\{y_i\}_q, \{x_i\}_p, \{v_i\}_r, \{I_i\}_s\}$ , де  $\{v_i\}_r, \{I_i\}_s$  - відповідно спостережувані і не спостережувані (неконтрольовані) збурення на  $q$  - підпросторі менших розмірностей, в яких враховуються тільки зв'язки даного виходу  $y_i$ ; якщо виходи сильно корелюють між собою, така декомпозиція ускладнена. Y- виходи, X- стани.

Приклад:  $j(y_1, y_2, y_3, x_1, x_2, v_1, v_2, v_3, v_1, v_2, v_3) = 0$ .

Нехай існують достатньо сильні зв'язки, які описуються (4.31):

$$y_1 \ll x_1, v_2, v_3, v_2, y_2 \ll x_1, x_2, v_2, v_1, y_3 \ll x_1, v_3, v_1, v_2. \quad (4.31)$$

Модель можна представити у вигляді трьох більш простих виразів:

$$j(x_1, v_2, v_3, v_2) = 0$$

$$j(x_1, x_2, v_2, v_1) = 0$$

$$j(x_1, v_3, v_1, v_2) = 0$$

**Макромоделювання** - тут у вихідному просторі змінних залишаються тільки ті змінні, які сильно впливають на вихідні змінні. Інші можуть бути враховані у параметричній формі шляхом зміни коефіцієнтів при врахованих змінних у випадку мультиплікативних впливів, або шляхом введення вільних членів при адитивному впливі.

Тут широко використовується метод адаптивної моделі, коефіцієнти якої представляються так, щоб деяка міра розбіжності (нев'язка) виходів моделі і об'єкта приймала допустимі значення. Для цього використовують метод

мінімізації нев'язок.

Структура спрощеної макромоделі може бути трьох каналною : з каналом управління  $X$ , з каналом контрольованих і неконтрольованих впливів; двох - і одно - каналною (рисунк 4.2).

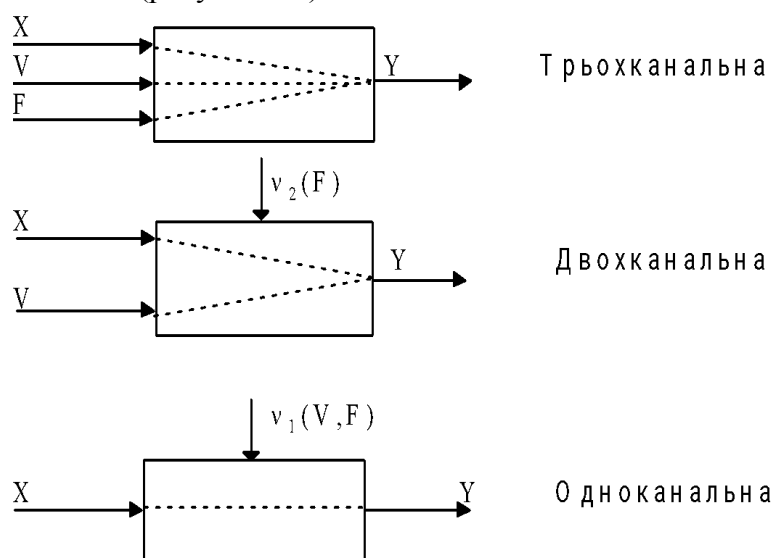


Рис.4.2 - Типи систем

Врахування збурень  $v_2(F)$ ,  $v_1(V, F)$  здійснюється за рахунок налагодження коефіцієнтів каналів, які залишилися.

Наприклад для  $k$ -ї вихідної змінної  $y_k$ ,  $k=1, \dots, q$  модель має вигляд (4.32):

$$\Phi_{k3}(\{y_i\}_{q3}, \{x_i\}_{p3}, \{v_i\}_{r3}, \{v_i\}_{s3}) = 0. \quad (4.32)$$

При цьому прагнуть, щоб  $q_3 < q$ ,  $p_3 < p$ ,  $r_3 < r$ ,  $s_3 < s$ .

Двоканальна модель :

$$\Phi_{k2}(\{y_i\}_{q2}, \{x_i\}_{p2}, \{v_i\}_{r2}, \{v_i\}_{s2}, t) = 0$$

Для адитивного впливу :

$$j_{k2}(\{y_i\}_{q2}, \{x_i\}_{p2}, \{v_i\}_{r2}, v_1, v_2, \dots, v_{n2}) = 0. \quad (4.33)$$

де  $v_1, v_2, \dots, v_{n2}$  — деякі вільні члени, введені в модель з метою врахувати вплив дії  $F$ .

Аналогічно будується однокомпонентна модель.

$$\begin{aligned} \Phi_{k1}(\{y_i\}_{q1}, \{x_i\}_{p1}, t) &= 0, \\ \Phi_{k1}(\{y_i\}_{q1}, \{x_i\}_{p1}, v_1, v_2, \dots, v_{n2}) &= 0. \end{aligned} \quad (4.34)$$

Оцінка ступеню впливу на вихідну змінну  $y_k$  тої, чи іншої дії при наявності повної моделі здійснюється шляхом визначення значень похідних  $dy/dx$ ,  $dy/dv$ ,  $dy/dv$ .

#### 4.6.3 Адекватність моделі і об'єкта

Адекватність полягає у мірі відтворення моделлю з необхідною повнотою всіх властивостей об'єкта, суттєвих для цілей даного дослідження. Оскільки модель має характер проекції, то неможливо говорити про абсолютну адекватність, тобто відтворюваність моделі об'єкту по всім параметрам. Як правило оцінка ступеня схожості властивості зводиться до оцінки їх відмінності.

Два об'єкта (об'єкт і модель) називають ізоморфними, якщо між ними існує взаємно однозначна відповідність. Як правило, ізоморфізм отримати майже неможливо, тому говорять про гомоморфізм, де не передбачається однозначна відповідність моделі об'єкту, тоді як відповідність об'єкта моделі неоднозначна.

#### 4.6.4 Ідентифікація

По результатах спостережень за вхідними і вихідними змінними системи, можна побудувати оптимальну в деякому змісті її модель. При цьому, як правило система знаходиться у нормальному режимі функціонування, тобто в умовах випадкових збурень і завад.

По кінцевому результату ідентифікація буває структурна і параметрична.

По способу дослідження об'єкта – активна і пасивна.

По типу ідентифікаційних моделей – лінійна, нелінійна, детермінована, стохастична, з неперервним часом, з дискретним часом, статистична, динамічна.

Успіх ідентифікації визначається двома факторами: об'ємом апріорної інформації про структуру об'єкта і об'єму накопиченої (виміряної) інформації.

Апріорна інформація дає можливість побудувати

структуру моделі і назвати ідентифікацією в широкому сенсі, або структурною ідентифікацією. Задачу визначення параметрів моделі за спостереженнями роботи об'єкта при заданій структурі моделі називають ідентифікацією у вузькому сенсі, або параметричною ідентифікацією.

- **Математичний апарат** – теорія наближення функцій (апроксимація і інтерполяція), теорія планування експерименту і регресійний аналіз, теорія автоматичного керування.

При ідентифікації як правило розв'язують наступні задачі :

- виділення об'єкта з середовища;
- завдання класу моделей;
- визначення характеру зв'язків між входами і виходами моделі і об'єкта;
- оцінка ступеня і форми впливу вхідних змінних на вихідні, визначення реальної кількості інформативних змінних;
- визначення можливого представлення моделі з необхідною точністю в класі лінійних операторів.

#### 4.7 Ефективність

Категорія ефективності має велике теоретичне та практичне значення. На основі оцінки ефективності:

- порівнюються однотипні системи;
- вибираються однотипні з групи систем;
- оперативно оцінюється діяльність (дія системи);
- продовжується чи припиняється створення (розробка) системи;
- перевіряються відповідність системи призначенню;
- рішення питання про прийняття чи не прийняття готової системи для застосування;
- визначається перспективність системи;
- визначається наявність чи відсутність цілеспрямованості (якщо це не відомо);
- визначається підвищення чи пониження ступеня відповідності системи призначенню (чи цілеспрямованості);
- визначається відповідність реальної цілеспрямованості системи нормативній чи передбаченій.

Теорія ефективності не може бути чисто математичною

теорією. Теорія ефективності є апаратом розробки проблем "дальнього прицілу" і в той же час засобом рішення текучих, важливих, оперативних задач практичної діяльності. Ось деякі з цих проблем.

- Оптимальний розподіл ресурсів між галузями виробництва.

- Нарощування енергетичного ресурсу для забезпечення наростаючих потреб, яке не викликає несприятливих екологічних наслідків.

- Вибір правильного співвідношення в розподілі людських і виробничих ресурсів.

- Вибір раціональних напрямків розвитку техніки.

- Визначення ресурсів, які виділяються на капітальне будівництво для раціонального розвитку техносфери і біосфери.

- Валютна політика і оптимальне співвідношення між експортом і імпортом як в цілому, так і по номенклатурі.

- Раціональне стимулювання демографічної політики.

- Визначення ресурсів, які виділяються на охорону і розвиток оточуючого середовища.

- Визначення ресурсів, які виділяються на виховання дітей і на освіту, а також раціональних строків поступлення молоді в трудову діяльність.

- Раціональний розподіл суспільного і особистого споживання прибутків.

Перераховані та багато інших проблем і питань володіють деякими спільними властивостями, які їх об'єднують:

- вони багатозв'язні: залежать від передісторії і включають нелінійно взаємодіючі компоненти, тобто є складними системами;

- для їх вирішення потрібно враховувати текучу ситуацію і орієнтуватися на перспективу, нерідко - дуже далеку;

- їх неможна вирішити без оцінки ефективності всіх можливих альтернатив та ситуацій.

В літературі широко обговорюється проблема вирішення "багатокритеріальних" задач. Чисельні запропоновані методики зводяться до трьох основних:

- рангування (впорядковування) критеріїв і зведення

багатокритеріальної задачі до одного критерію;

- побудова моделей багатокритеріальних ситуацій (багатомірних образів ситуацій) і апріорне рангування (впорядковування) моделей;

- структуризація задачі і апеляція в кінцевій інстанції до людського інтелекту та волі.

Другий шлях можна застосовувати для простих ситуацій, відносно яких є достатнє апріорне знання. Його неможливо застосувати до складних (які не спостерігалися раніше) ситуацій і рішень з великими наслідками. Третій шлях не вирішує проблему, а тільки готує її для передачі у вищу інстанцію, відносно способу дії якої нам мало що відомо і ми не намагаємося по це дізнатися.

Ми називаємо цілеспрямованою систему, поведінка якої переслідує сформовану надсистемою мету: "досягнути заданого рівня", "вижити", "перемогти" і т. д. Математично це виражається тим, що система із всіх можливих приймає стани, які забезпечують збільшення (збереження) деякого функціоналу стану. Цей функціонал є міра цілеспрямованості і носить назву ефективності. Ми користуємося "визначенням через абстракцію" (класичним прикладом може служити визначення: "Потужність множини є те, з допомогою чого множини порівнюються між собою").

З цього визначення витікають наступні:

- – поняття ефективності є зовнішнім по відношенню до системи, тобто ніякий опис системи не може бути достатнім для введення ефективної міри;

- – оцінка ефективності потребує обліку властивостей надсистеми і в цьому смислі охоплює як систему, так і надсистему;

- – нецілеспрямовані (які не мають цілі) системи ефективністю не характеризуються.

Оцінка ефективності – одна з основних задач аналізу.

*Показник ефективності* – міра однієї властивості (характеристики) системи в кількісному представленні, тобто є виміром деякої властивості.

*Критерій ефективності* – міра ефективності в цілому, представляється кількісно і служить мірою ефективності системи, узагальнюючи всі її властивості в одній інтегральній оцінці (значення критерію ефективності).

Ефективність системи, розробленої для однієї мети, повинна оцінюватись на основі одного критерію ефективності.

*Оптимальна система* – система, якій відповідає максимальний критерій ефективності на множині реальних варіантів побудови системи.

Протиріччя властивостей поняття ефективності створюють певні труднощі в його розумінні, інтерпретації і застосуванні. Протиріччя є в тому, що, з однієї сторони, ефективність це атрибут системи, з іншої сторони, оцінка ефективності спирається на властивості надсистеми. Протиріччя це носить діалектичний характер, стимулює розвиток представлень про ефективність, але разом з тим породжує перешкоди до розуміння істотності ефективності та взаєморозуміння шукачів при розв'язку практичних питань. Ці перешкоди носять різний характер:

- світо зорові, що виникають при відсутності широкого міждисциплінарного погляду на проблему;
- методологічні, пов'язані з прискоренням та малообґрунтованим узагальненням емпіричних фактів;
- логічні, викликані порушенням правил та прийомів мислення;
- гносеологічні, пов'язані з недостатньо високим рівнем знань;
- психологічні, обумовлені професійними, віковими і особистісними особливостями шукачів.

Навряд чи можна створити адекватну загальну теорію, яка дозволяє діалектичне протиріччя проблеми в рамках конкретного категорійного, а тим більше математичного апарату. У відповідності з концепцією системотехніки ми будуємо модель, рівень загальності якої буде знаходитись в оберненому відношенні до її прагматичності.

Введемо основні визначення.

**Показники якості** – сукупність основних додатних (з позиції надсистеми чи шукача) властивостей системи. Показники якості є системними інваріантами.

Показник якості - один з найважливіших додатних властивостей надсистеми.

**Якість системи** – узагальнена характеристика системи, що виражає ступінь її корисливості для надсистеми, шукача чи користувача. Зауважимо, що "користувачем" системи може

бути сама система (це характерно для біологічних систем).

**Ефект** – результати, наслідок яких-небудь причин, дій. Ефективний – діючий ефект, дієвий. Звідси – ефективність, результативність.

**Ефективність** – нормований до витрат ресурсів результат дії чи діяльності системи на визначеному інтервалі часу (відношення ефекту до витраченого ресурсу, різниця між ними, ефект при обмеженому ресурсі, функціонал, який враховує ефект та витрачений ресурс). Ефективність – це скаляр, який враховує якість системи, витрату ресурсів і час дії, визначений для систем з декількома (в тому числі альтернативними), а також скритими, невідомими системі (надсистемі) і користувачу цілям (останнє характерно для біологічних систем).

Перейдемо до формальних визначень.

Показники якості – неупорядкована дискретна множина (4.35):

$$Q = \{Q_i\}, i = 1, n, \quad (4.35)$$

де  $Q_i$  визначені на різних підмножинах (в різних функціональних просторах) і різної розмірності.

Кожен з показників якості – впорядкована множина (неперервна, дискретна чи складається із змінних  $(0, 1)$ ):

$$Q_i = \{Q_{ij}\}, j = 1, m, \\ Q_{ij} < Q_{i2} < \dots < Q_{im}. \quad (4.36)$$

Якість системи є частково впорядкована множина:

$$Q^* = \{Q_k^*\}, j: J \rightarrow Q^*, \quad (4.37)$$

де  $j$  – відображення прямого (декартового) множення  $J \times Q$  в множину  $Q^*$ , а –  $J$  "впорядковуюча" множина.

Ефект  $G$  є впорядкована множина (4.38):

$$y: Q \times T \rightarrow G \quad \text{чи} \quad y_1: Q^* \times T \rightarrow G, \quad (4.38)$$

де  $y, y_1$  – відображення;  $T$  – множина моментів часу (досить впорядкована).

Ефективність є досить впорядкована множина:

$$E = \{E_0 < E_1 < E_2 < \dots < E_N\},$$

$$f: H \times G \times W \times T \rightarrow E \quad \text{чи} \quad f: H \times Q \times W \times T \rightarrow E, \quad (4.39)$$

де  $f$  – відображення;  $W$  – витрачений на інтервалі  $T$  ресурс (досить впорядкована множина);  $H$  – впорядковуюча множина.

Впорядковуюча множина є множина (не обов'язково впорядкована), за допомогою якої в задану неупорядковану множину вноситься відношення порядку. Його природа може

бути різноманітною і не існує загального способу його формування, воно залежить від змісту задачі і повинно бути вибрано (якщо треба - видумано). Саме до таких множин відносяться J та H.

Можна вказати декілька способів побудови впорядковуючої множини  $L=\{L_i\}$ , що вводить порядок і вихідну неупорядковану множину  $N=\{N_i\}$ , де  $(N_i>0)$ .

Пороговий: для кожного елемента  $N_i$  встановлюється поріг  $L_i$ , такий що, якщо,  $N_i \geq L_i$ , а  $N_j < L_j$ , то  $N_i < N_j$ .

Ваговий: кожному елементу  $N_i$  присвоюється вага  $L_i$ , якщо  $L_i N_i < L_j N_j$ , то  $N_i < N_j$ , в частковому випадку  $N^* = \sum_i L_i N_i$ .

Ранговий: елементи  $N_i$  ранжуються по важливості: при  $i=1$  присвоюється ранг  $r_1=1$ , при  $i=2, 3, \dots$  відповідно  $r_2=2, r_3=3$  і т.д. Тобто,  $N_1 < N_2 < N_3 < \dots$  при будь-яких значеннях.

Функціональний: вводиться функціонал  $\Phi(\{N_i\})$  (аналітично, програмно, поліморфно), за допомогою якого встановлюється відповідність

$$\Phi(\{N_i^{(k)}\}) < \Phi(\{N_i^{(l)}\}). \quad (4.40)$$

В дослідженнях ефективності сформувались два відносно самостійних напрямки, перший з яких опирається на теологічну, а другий на природничо-наукову концепцію. В якийсь мірі ці напрямки альтернативні, хоча обидва претендують на загальність, перспективність і практичну застосовність.

Перший напрямок характеризується функціональним відношенням до обґрунтування категорії "ефективність" і способам її оцінки. Оцінювана система розглядається з точки зору надсистеми, а під ефективністю системи розуміється той (кількісний вираз) додатний вплив, яким система впливає на функціонування надсистеми. Відповідно критерій і міра ефективності носять функціональний характер. Конкретний зміст системи, що оцінюється, відходить на другий план, поступаючи першій оцінці вкладу системи в діяльність надсистеми. Функціональні критерії носять нормативний або ж ймовірнісний характер. До перших відносяться відсоток виконання плану, відповідність прибутку на одиницю капіталовкладень заданому рівню, ступінь використання основних фондів і т. ін.; до других – математичне очікування успіху, ймовірність досягнення мети чи рішення задачі.

Переваги функціональних критеріїв: інтуїтивна прийнятність; однозначність зв'язку з призначенням системи; спряженість з взаємодіючими системами і надсистою; достатність основ для вибору критерію ефективності і його незмінність в ході розробки; більша вільність в роботі; прогностичність.

Недоліки: невимірність і погане визначення критерію; неоднозначність зв'язку з технічними параметрами; залежність конкретного змісту критерію від умов роботи (відсутність інваріантності); широкий довірливий інтервал обчислювальної оцінки; складність обліку зворотних зв'язків; слабка узгодженість критеріїв взаємодіючих критеріїв, яка породжує конфлікти.

Встановимо можливі функціональні критерії ефективності для технічних систем різного призначення:

Для транспортної системи:

1) показники якості:

- швидкість,
- вантажопідйомність,
- безпечність (для вантажу і навколишнього середовища),
- енергоспоживання;

2) якість: ймовірність виконання плану;

3) ефективність: ймовірність збереження показників якості на заданому інтервалі часу.

Для системи енерготранспортних систем:

1) показники якості:

- активна потужність (при заданих параметрах струму),
- дальність (при заданому рівні втрат),
- безпечність,
- вартість;

2) якість: ефект і ефективність – як в попередньому випадку.

Для системи зв'язку

1) показники якості:

- пропускна здатність,
- достовірність,
- завадо захищеність (надійність),
- скритність,
- вартість;

2) якість: пропускна здатність при фіксованому значенні решти показників;

3) ефективність: пропускна здатність в заданому інтервалі часу і реальній ситуації.

Для обчислювальної системи

1) показники якості:

- швидкодія,
- пам'ять,
- надійність обчислень,
- вартість;

2) якість: кількість обчислювальних задач визначеного типу в одиницю часу;

3) ефективність: ймовірність виконання заданих функцій в надсистемі на потязі певного часу.

Для виробництва (підприємства, виробництва)

1) показники якості:

- кількість продукції, що випускається в одиницю часу (при відповідних нормативам характеристиках),
- надійність,
- гнучкість (ймовірність перебудови на нові задачі в визначений час),
- собівартість продукції;

2) якість:

- текучий прибуток,
- ймовірність виконання нормативних вимог до продукції при заданих планах виробництва і собівартості;

3) ефективність:

- прибуток за визначений проміжок часу,
- відсоток виконання плану.

Другий напрямок виходить із можливості введення фізично вимірювального критерію ефективності. Пропонується, що, оскільки взаємодія між підсистемами всередині системи, а також з надсистемою має фізичну природу (речову, енергетичну, інформаційну) і, відповідно, практично ми маємо справу з фізичними величинами, то і поняття ефективності не може мати конкретного фізичного змісту. Задача теорії ефективності розглядається в обґрунтуванні способу узагальнення всіх факторів взаємодії з метою доведення (шляхом послідовної композиції) до єдиної фізичної величини, яка і називається критерієм ефективності.

Основним пунктом є фізична вимірюваність критерію ефективності, що надає великі переваги практичного характеру. Концептуальна складність полягає в обґрунтуванні застосовності до системи деякої фізичної теорії, вона долається завдяки створенню моделі системи, компоненти якої відповідають таблиці де Бартіні і, відповідно, мають фізичний зміст. Невідома фізична теорія замінюється фізичною моделлю. Функціональні критерії пропонуються допоміжними, що мають орієнтаційне значення як в штучності введеної для них міри, так і в фізичній (інструментальній) невимірюваності.

Застосування фізичних критеріїв має істотні переваги по ряду причин, головною з яких є їх велика оперативна сила. В складних і невизначених ситуаціях, коли потрібно приймати відповідальні рішення, викривати і долати протиріччя і практичні труднощі, зв'язані з накопиченням альтернатив, застосування фізично вимірювальних критеріїв може дати неймовірний результат. Але, якщо модель складено невдало, прагматизм фізичних критеріїв може виявитися ілюзійним, а результати – невірними, така небезпека реально існує і зовсім не зменшується від численності вдаливих прикладів. Експериментальна перевірка адекватності моделі ускладнена унікальністю системи.

"Чисто" фізичні критерії мають наступні переваги:

- **вимірюваність**: можливість безпосередньої оперативної оцінки за допомогою фізичних пристроїв;
  - **інваріантність**: незалежність від умов роботи, області застосування і системи відліку;
  - **однотипність** і однаковість для всіх підсистем і системи в цілому і впливаючих звідси однотипність описів;
  - **можливість оперативної оцінки** доцільності будь-яких заходів і діянь, що направлені на змінення системи;
  - **застосовність при оцінці систем** з неоднозначною, але цілком визначеною і навіть невідомою цільовою функцією;
  - **прогностичність**.
- Недоліки:
- концептуальні і практичні труднощі обґрунтування адекватної фізичної теорії;
  - труднощі в встановленні залежності призначення

системи від фізичного критерію;

- слабка розробка математичного апарату оцінки (опір на вимірюваність має і обернену сторону);

- не традиційність, незвичність, інтуїтивна складність сприймання, відсутність погодженості думки по питаннях застосування.

Маючи останню, інтуїтивну складність, почнемо розгляд фізичних критеріїв з прикладу – транспортної системи "вантажний автомобіль" з показниками якості:  $Q_1$  - швидкість,  $Q_2$  - прохідність,  $Q_3$  - експлуатаційний ресурс,  $Q_4$  - вантажопідйомність,  $Q_5$  - час завантаження (розвантаження),  $Q_6$  - вартість,  $Q_7$  - витрати на 1000 км пробігу.

Прийmemo впорядковуючу множину в складі:  $h_1$ - довжина траси,  $h_2$ - стан доріг,  $h_3$ - допустимий добовий пробіг,  $h_4$ - об'єм робіт (кількість вантажу),  $h_5$ - коефіцієнт завантаження (який враховує продуктивність завантажувально-розвантажувальних механізмів),  $h_6$ - енергетичний еквівалент одиниці вартості,  $h_7$ - енергетичний еквівалент витрат на експлуатацію.

Елементи декартового добутку будуть:

$$((Q_1, h_1) (Q_2, h_2) (Q_3, h_3) (Q_4, h_4) (Q_5, h_5) (Q_6, h_6) (Q_7, h_7)), \quad (4.41)$$

(решта елементів не мають фізичного змісту і рахуються рівними нулю, наприклад, комбінація: швидкість автомобіля і характер вантажу) характеризують ефект від використання автомобіля (перші п'ять) і витрати на його придбання і експлуатацію (останні два). Насправді,  $t_1=Q_1/h_1$ - час пробігу на трасі;  $k_2=Q_2/h_2$ - коефіцієнт сповільнення через недоліки шляху;  $t_3=Q_3/h_3$ - час експлуатації (в еквівалентних добах роботи з повним навантаженням);  $k_4=Q_4/h_4$ - число поїздок, необхідних для перевезення вантажу;  $t_5=Q_5/h_5$ - час простою для завантаження і розвантаження;  $k_6=Q_6/h_6$ - енергетичний еквівалент вартості автомобіля;  $k_7=10^{-3}Q_7/h_7$ - витрати на експлуатацію. Звідси:

- час одного рейсу  $t_p=k_2t_1+t_5$ ;

- середня швидкість руху і середня завантаженість автомобіля  $n=Q_1/t_p | k_4 Q_1 Q_3$ ,  $P=h_4/k_4$ ;

- сумарні витрати  $W=h_6Q_6+10^3k_4Q_1/(h_7Q_7)$ .

Прийmemo:

- за якість  $Q=Pn$ ;

- за ефект – величину  $G=pn^2/2$ ;
- за ефективність – величину  $E=Pn^2t_3/(2W)$ .

Якість має розмірність імпульсу  $[Q]=[L^4T^{-3}]$ ; ефект – розмірність енергії  $[G]=[L^5T^{-4}]$ , а ефективність – розмірність часу  $[E]=[T]$ .

В нашому випадку мова йде про те, щоб при заданому режимі роботи забезпечити на одиницю затрат найбільшу тривалість експлуатації автомобіля, що досягається раціональним підвищенням завантаженості і швидкості.

Можна в якості ефективності прийняти величину  $E=Pn$ , тобто «імпульс перевезених вантажів». Величина  $E$  може бути використана для порівняльної оцінки автотранспортних систем з однаковим ресурсом. Логарифмуючи  $E$ , отримуємо  $\log E = \log P + \log n$ . При  $E = \text{const}$  це – рівняння прямої, на якій система з заданими  $P$  і  $n$  відображається точкою.

Будь-які зміни показників якості потягнуть за собою перехід в іншу точку; якщо показники якості підвищуються, точка зміщується вправо вгору. Передбачити наслідки діянь на систему, навіть якщо вони представляються розумними, неможливо. Наприклад, збільшення рейсової швидкості може підвищити потребу в ремонті, в результаті середня швидкість зменшиться; збільшення завантаженості може привести до зменшення рейсової швидкості і збільшенню продовжень простоїв і т. ін. Головна перевага критерію – вимірюванність, якщо потрібно – щогодини. Тому легко перевірити корисність будь-яких заходів, сильно не ризикуючи: збільшення числа ремонтного персоналу за рахунок водіїв, призначення премій за скорочення завантаження і розвантаження, перехід на інше пальне.

Але не всі заходи можна оцінити таким чином. Наприклад, збільшення контингенту водіїв (пов'язане з збільшенням фонду заробітної платні і деяким зниженням середнього рівня кваліфікації з-за новачків) чи зміна ремонтного устаткування (допоміжні витрати) можуть дати тільки короткочасне підвищення ефективності.

Істотно обидва напрямки, не дивлячись на традиційність першого і істотність другого, страждають загальним недоліком – фрагментарністю, оскільки їх головним компонентом є передача концептуальної частини задачі в іншу інстанцію в передбаченні, що ця друга інстанція володіє більшою

інформацією (перший напрямок). Вища інстанція і повинна провести метризацію паспорту показників якості і визначити критерій ефективності. Інакше кажучи, подолання головної труднощі проблеми, що полягає в тому, що різні її частини визначені на різних множинах, що не перетинаються, покладається на другу інстанцію, якій доручається складання об'єднуючого зверх опису.

#### **4.8 Контрольні запитання до четвертого розділу**

1. На які види поділяються моделі?:
2. Рівні моделювання?
3. Що відображає структурна матриця системи?
4. Що відображає операторна матриця системи?
5. Що таке аналітичний метод моделювання?
6. Методи спрощення моделей?
7. Як здійснюється макромоделювання?
8. Поняття ефективності систем?

## 5 СИСТЕМНИЙ ПІДХІД

### 5.1 Формування загальних уявлень про систему

1) Виявлення основних елементів “не-системи”, з якими пов’язана система, що вивчається. Виявлення характеру цих зв’язків.

На цій стадії вирішується ряд окремих проблем. Досліджуються основні зовнішні впливи на систему (входи). Визначаються їх тип (речовинний, енергетичні, інформаційні), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються межі того, що рахується системою, визначаються елементи “не-системи”, на які спрямовані основні вихідні впливи. Тут також корисно прослідкувати еволюцію системи, шлях її формування. Нерідко саме це веде до розуміння структури та особливостей функціонування системи. В цілому дана стадія дозволяє краще зрозуміти головні функції системи, її залежність та вразливість або відносно незалежність у зовнішньому середовищі.

2) Виявлення головних функцій (властивостей, цілей, призначення) системи. Формування (вибір) основних предметних понять, що використовуються в системі.

На цій стадії мова йде про розуміння основних виходів в системі; саме з цього краще починати її дослідження. Повинен бути визначений тип виходу: речовинний, енергетичний та інформаційний, вони повинні бути віднесені до яких-небудь фізичних чи інших понять (вихід заводу — продукція (яка?), вихід системи управління — сигнали (для чого? в якому виді?), вихід системи автоматизованого проектування — конструкторська документація (креслення чого?), вихід двигуна — потужність (механічна? електрична?), тощо).

3) Виявлення основних частин (модулів) в системі та їх функцій. Усвідомлення єдності цих частин в межах системи.

На цій стадії відбувається перше знайомство із внутрішнім змістом системи, виявляється, з яких об’ємних частин вона складається і яку роль кожна частина відіграє в системі. Ця стадія — отримання первинних відомостей про структуру і характер основних зв’язків. Такі відомості зручно представляти та вивчати за допомогою структурної схеми систем, де, наприклад, з’ясовується наявність переважно

послідовного чи паралельного характеру з'єднання частин, взаємна чи переважно одностороння направленість впливів між частинами тощо. Вже на цій стадії слід звернути увагу на так звані системо утворюючі фактори, тобто на ті зв'язки,

взаємообумовленості, які і роблять систему системою.

4) Виявлення основних процесів в системі, їх роль, умови здійснення; виявлення стадійності, стрибків, змін станів тощо, функціонування системи; в системах управління — виділення основних управляючих або керуючих факторів.

Тут вивчається динаміка найважливіших змін в системі, розвиток подій в ній, вводяться параметри стану, розглядаються фактори, що змінюють ці параметри, що забезпечують протікання процесів, а також умови початку та кінця процесів тощо. Вивчаються чи керовані процеси та чи сприяють вони здійсненню системою своїх основних функцій. Для систем, що управляються, усвідомлюються основні керуючі впливи, їх тип, джерело та степінь впливу на систему.

5) (для стохастичних систем). Виявлення невизначеностей та випадковостей в ситуації визначаючого впливу їх на систему.

Стадією 5) завершується формування загальних уявлень про систему. Як правило, цих уявлень достатньо, якщо мова йде про об'єкт, з яким ми безпосередньо працювати не будемо. Якщо ж мова йде про систему, якою необхідно займатися з метою її глибокого вивчення, покращення, управління, то ми будемо вимушені піти далі по спіралеподібному шляху поглибленого дослідження системи.

## **5.2 Формування поглиблених уявлень про систему**

6) Виявлення розгалуженої структури, ієрархії, формування уявлень про систему як про сукупність модулів, зв'язаних входами-виходами.

7) Виявлення всіх елементів та зв'язків, важливих для цілей розгляду. Їх відношення до структури ієрархії в системі. Рангування елементів і зв'язків за їх значимістю.

Стадії 6) та 7) тісно пов'язані одна з одною, тому їх аналіз доцільно проводити разом. Стадія 6) — це межа пізнання "всередину" достатньо складної системи для особи, що оперує нею в цілому. Більш поглиблені знання про систему (стадія 7))

буде мати вже лише спеціаліст, що відповідає за її окремі частини. Для не дуже складного об'єкта рівень стадії 7) – знання системи в цілому – є досяжним й для однієї людини. Таким чином, стадії 6) та 7) говорять про одне і теж, але в першій з них ми обмежуємося тим розумним об'ємом відомостей, який є доступним одному досліднику.

При поглибленій деталізації важливо виділяти саме суттєві для розгляду елементи (модулі) та зв'язки, відкидаючи все те, що є мало важливим для цілей дослідника. Пізнання системи

припускає не завжди просте розмежування суттєвого від несуттєвого, а також надання більшої уваги більш суттєвому. Деталізація повинна охопити і вже розглянутий в стадії 1) зв'язок системи з "не-системою". На стадії 7) сукупність зовнішніх зв'язків вважається зрозумілою настільки, що ми маємо право говорити про досконале знання системи.

Стадії 6) та 7) підводять підсумок загальному, цільному вивченню системи. Подальші стадії вже розглядають тільки її окремі сторони. Тому важливо ще раз звернути увагу на системо утворюючі фактори, на роль кожного елемента і кожного зв'язку, на розуміння, чому вони саме такі або повинні бути саме такими з точки зору єдності системи.

8) Врахування змін та невизначеностей в системі.

На цій стадії досліджується повільна, як правило, небажана зміна властивостей системи, яку прийнято називати "старінням", а також можливість заміни окремих частин (модулів) на нові, що дозволяють не тільки протистояти старінню, але й підвищити якість системи в порівнянні з її початковим станом. Таке вдосконалення штучної системи прийнято називати розвитком. До нього також відносять покращення характеристик модулів, підключення нових модулів, накопичення інформації з метою її кращого використання, а інколи й перебудову структури, ієрархії, зв'язків.

Основні невизначеності в стохастичній системі рахуються дослідженими на стадії 5). Однак не детермінованість завжди присутня і в системі, що не призначена працювати в умовах випадкового характеру входів та зв'язків. Тут облік невизначеностей перетворюється в дослідження чутливості найважливіших властивостей

(виходів) системи. Під чутливістю розуміють ступінь впливу зміни входів на зміну виходів.

9) Дослідження функцій і процесів в системі з метою управління ними. Введення управління та процедур прийняття рішень. Розгляд управляючих впливів як системи управління.

Для цілеспрямованих та інших систем з управлінням ця стадія має велике значення. Основні управляючі фактори були усвідомлені при розгляді стадії 4). Однак, там це мало характер загальної інформації про систему. Для ефективного введення управлінь чи вивчення їх впливів на функції системи і процеси в ній необхідне глибоке знання системи. Саме тому аналіз управління здійснюється тільки після всебічного розгляду системи. Слід вважати, що управління може бути різноманітним за змістом – від команд спеціалізованої управляючої ЕОМ до міністерських наказів. Однак можливість розгляду всіх цілеспрямованих втручань в поведінку системи дозволяє говорити вже не про окремі управлінські акти, а про систему управління, яка тісно переплітається з основною системою, але чітко виділяється у функціональному відношенні. На даній стадії

з'ясовується, де, коли та як (в яких точках системи, в які моменти, в яких процесах, стрибках, вибірках із сукупності, логічних переходах тощо) система управління впливає на основну систему, наскільки це ефективно та зручно реалізується. При введенні управлінь в системі повинні бути досліджені варіанти перевodu входів та постійних параметрів в керовані, визначені допустимі межі управління та способи їх реалізації. Стадії 6) — 9) були присвячені поглибленому дослідженню системи. Далі йде специфічна стадія моделювання. Поки що не йшла мова про моделі, хоча, звичайно, більшість згаданих властивостей системи зручно вивчати саме на них. Однак протиріччя тут немає. Про створення моделі можна говорити тільки після повного вивчення системи.

### **5.3 Моделювання системи як етап дослідження**

10) При введенні сукупності моделей для опису системи ми знову, вже вкотре повторюємо її розгляд – цього разу з метою зручного відображення її властивостей. На стадіях 1)

— 9) мова йшла про реєстрацію в системі фактів та властивостей, введення ієрархії, модульності тощо. Тепер ми ставимо за мету створити опис системи, придатний для передбачення її поведінки та виводу неявних властивостей. Якщо раніше в уявленнях дослідника була допустима злитність моделі та реальної системи, то на цій стадії необхідно розмежовувати їх одна від одної та чітко уявляти ту наближеність, яку несе в собі модель.

Важлива відмінність моделювання від стадії 1) — 9) полягає в тому, що моделювання йде не зверху, від глобальної функції та виділення основних частин, а знизу, з побудови моделей для окремих процесів, для простих модулів нижніх ієрархічних рівнів. І далі на основі розумного ускладнення моделей і переходу до їх сукупностей моделюються все більш об'ємні модулі і, врешті-решт, система в цілому. Для останньої можливо корисною буде й побудова макромоделей.

На практиці найбільш розповсюджені дедуктивне моделювання та наближені до нього методи. Це означає використання якої-небудь загальної моделі для виводу з неї потрібної конкретної. Така процедура часто включає спрощення, емпіричне або цілком обґрунтоване (теоретичне) уточнення коефіцієнтів, параметрів, виду функцій. Близьким до дедукції є моделювання за аналогією — моделювання з вибором за основу подібної системи або ситуації. Хоч такий метод може бути підданий серйозній критиці за часто необґрунтоване перенесення властивостей іншої системи на ту, що розглядається, слід визнати, що в цілому він досить продуктивний, а його недоліки долаються критичним відношенням до моделі, яка використовується в якості основи.

Інший спосіб моделювання — індукційний, який дає в дослівному перекладі "виведення з часткового" моделі. До них належать створення принципово нових моделей, а також емпіричне моделювання, коли без достатньо науково-теоретичних основ підбирають та отримують експериментальні підтвердження деяких формальних відношень. Хоча точність таких апроксимаційних моделей частіше за все невелика, в ряді випадків вдається успішно працювати й з ними.

Корисно тут також сказати про точності моделювання в цілому. Відмітимо, що вона може бути як недостатньою для

цілей розгляду, так і надмірною. Загальне твердження про точність говорить, що вона повинна бути мінімальною, яка забезпечує відображення всіх важливих особливостей системи. Відступ від надлишкової деталізації – це економія часу та пам'яті ЕОМ, зменшення об'єму вихідних даних і навіть ріст надійності моделі, зв'язаний із зменшенням їх складності. З іншого боку, надто проста модель не опише суттєво якісні особливості системи і призведе до помилкових висновків про її поведінку. Відшукати межу розумної складності часто не легко, і вона остаточно визначається тільки при налагодженні моделі на практичних задачах.

#### **5.4 Контрольні запитання до п'ятого розділу**

1. Послідовність формування загальних уявлень про систему?
2. Послідовність формування поглиблених уявлень про систему?
3. Процес моделювання системи як етапу дослідження?

## 6 ОРГАНІЗАЦІЙНІ СИСТЕМИ. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ

### 6.1 Покращення і проектування систем

Часто проблеми, пов'язані з рішенням системних задач, виникають внаслідок того, що ОПР (особа, яка приймає рішення) не розрізняє понять покращення систем і проектування систем.

**Покращення систем** – процес, який забезпечує роботу системи згідно очікуваному. При цьому передбачається, що система вже створена, однак зміни, які пропонуються позитивні. Методологія, яка лежить в основі покращення систем, називається науковою парадигмою (система понять і методів, яка застосовується в природничих науках).

Покращення системи означає виявлення причин відхилень від заданої норми роботи або можливостей по покращенню роботи системи з метою отримання результатів, які в найбільшій мірі відповідають цілям проекту. При цьому сам проект під сумнів не ставиться.

При цьому виникають наступні проблеми :

- система не відповідає поставленій меті;
- система не забезпечує прогнозованих результатів;
- система не працює так, як передбачалося.

В процесі покращення систем можна виділити наступні кроки :

- визначається задача (система і складаючі її підсистеми);
- шляхом спостереження визначають реальні стани, умови роботи та поведінку системи;
- реальні і очікувані умови роботи системи порівнюються для визначення ступеню відхилення;
- у рамках підсистем будуються гіпотези відносно причин відхилення;
- з відомих фактів методом дедукції загальна проблема розбивається на підпроблеми.

Ці кроки є результатом застосування аналітичного підходу і є традиційними в наукових дослідженнях. Необхідно відмітити, що покращення систем здійснюється

шляхом інтроспекції, тобто система досліджується з середини і посилкою є те, що розв'язок проблеми лежить в межах самої системи. Функція, призначення, структура, взаємозв'язок з іншими системами при цьому під сумнів не ставиться. Покращення системи може бути успішним тільки для невеликих обмежених систем, які мало залежать від інших систем.

***Причини неефективності покращення систем :***

- 1) Пошук причин відхилення здійснюється в межах самої системи. При цьому не враховується те, що система не є ізольованою, а входить у більш велику систему і необхідно задовольнити її вимогам.
- 2) Система приводиться до стандарту, тобто проблема розв'язується у межах встановлених стандартів.
- 3) Невірні або застарілі цілі.
- 4) Проблема розв'язується в межах законодавчих і територіальних бар'єрів.
- 5) Нехтування побічними ефектами.
- 6) Планування направлене на задовільнення існуючих тенденцій і не впливає на них.

## **6.2 Проектування систем. Системний підхід**

Проектування систем відрізняється від покращення систем вихідними посилками і методологією. Основні відмінності між ними наведено в таблиці 6.1.

Методологія проектування систем базується на наступних положеннях :

- 1) Проблема визначається з врахуванням взаємозв'язків з великими системами, в які входить система, що розглядається, і з якими вона пов'язана спільною метою.
- 2) Цілі системи визначаються не в рамках системи, а розглядаються у зв'язку з більш великими системами.
- 3) Існуючі проекти слід оцінювати величиною відхилення системи від оптимального проекту.

Таблиця 6.1 - Порівняння двох методологій змін систем

| Ознаки              | Покращення систем                                                     | Проектування систем                                         |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Умови роботи систем | Проект прийнятий                                                      | Проект під питанням                                         |
| Об'єкт дослідження  | Субстанція, зміст, причина                                            | Структура, процес, метод, мета, функція                     |
| Парадигма           | Наукова парадигма (аналітична методологія)                            | Системна парадигма (системний підхід)                       |
| Метод судження      | Дедукція і редукція                                                   | Індукція і синтез                                           |
| Результат           | Покращення існуючої системи                                           | Оптимізація системи в цілому                                |
| Методика            | Визначення причин відхилення реальної роботи системи від запланованої | Визначення відмінностей між реальним і оптимальним проектом |
| Основний акцент     | Пояснення попередніх відхилень                                        | Прогнозування майбутніх результатів                         |
| Підхід              | Інтроспективний                                                       | Екстроспективний                                            |
| Роль планувальника  | Ведений, тобто притримується існуючих тенденцій                       | Ведучий, тобто впливає на існуючі тенденції                 |

4) Оптимальний проект, як правило, неможливо отримати шляхом внесення невеликих змін у існуючі прийняті форми. (Оптимальний проект базується на плануванні, оцінці і прийнятті таких рішень, які передбачається здійснити для системи в цілому).

5) Системний підхід базується на таких методах суджень, як індукція і синтез.

6) Планування являє собою процес, у якому планувальник бере на себе роль лідера. Він пропонує рішення, які відкидають, або пом'якшують небажані дії і тенденції попередніх проектів систем.

### 6.3 Системний підхід з точки зору управління

При системному підході можна виділити чотири основні проблеми:

- визначення меж системи в цілому і меж оточуючого середовища ;
- визначення цілей системи ;

- визначення структури програми і побудова матриці програма-елемент ;

- опис управління системою .

Оточуюче середовище включає всі системи, які не контролюються ОПР. Як правило, межі, які відокремлюють систему не співпадають з встановленими організаційними межами. Система, яка розглядається, не завершується сукупністю всіх елементів організації. Система в цілому включає всі системи, які можуть впливати на проблему, що розглядається, або будуть відчувати її вплив незалежно від того, до якої організації вона формально відноситься. До оточуючого середовища методом виключення відносять всі системи, які не входять в систему в цілому.

#### **6.4 Приклади застосування системного підходу**

1) Проблеми перед адміністрацією фірми :

- Збуту продукції – включає інші фірми або всю економічну систему.

- Вирішення питання дивідендів – необхідно врахувати не тільки рівень прибутку, але й вивчити вплив, який роблять ці фактори на вартість акцій, а також можливість отримання кредитів. У збільшенні дивідендів зацікавлені акціонери, але не зацікавлені інші компоненти системи: службовці, постачальники, споживачі. Тому будь-який компонент системи оцінює її роботу по різним критеріям: акціонер – вартість акцій; службовець – зарплата, гарантія робочого місця; постачальник – своєчасна оплата; споживач – ціна якості.

3) Проблема встановлення меж системи нерозривно пов'язана з визначенням задач і цілей системи та вибором критеріїв ефективності. При розгляді меж її цілі змінюються по мірі врахування інших систем. Виходячи з вищесказаного, множини цілей і протиріччя критеріїв оцінки результатів, робота ОПР є особливо складною. Він мусить визначати підсистеми, які можуть виконувати програми, необхідні для виконання цілей всієї системи. Він мусить слідкувати, щоб ці підсистеми, працюючи незалежно, працювали оптимально на рівні всієї системи. ОПР необхідно заохочувати ініціативу і нововведення з боку підсистем при збереженні свого впливу і повного контролю ситуації.

4) Дії спрямовані на досягнення цілей системи, або

виконання пов'язаних з цим функцій організуються у програми.

Структура програми – представлення відношень всіх елементів системи з функціями, які вони виконують, незалежно від їх просторових, юридичних і формально-організаційних меж.

Структура програми може бути представлена у вигляді структурної схеми, яка вказує на залежність між різними формами діяльності у відповідності з їх функціями і цілями. Порівняння програм забезпечує встановлення стандартів і критеріїв для вибору оптимуму. Для досягнення бажаних результатів необхідно використовувати моделі прийняття рішень, які дають можливість оцінити відношення вхід-результати.

Матриця програма-елемент ставить у відповідність елементи з різними програмами. Згруповані у відповідності з програмою або інформацією, вони утворюють компонент системи.

Властивості компонентів системи : направлені на досягнення однієї і тієї ж мети або розв'язку однієї і тієї ж задачі; для них не є обов'язковим границі традиційних або організаційних меж.

4) Управління є загальним поняттям, яке включає всі дії і всіх ОПР, які входять у процеси планування, оцінки, реалізації проєктів, контролю. Чітко розрізнити ролі проєктувальника і управлінця важко, оскільки їх дії взаємопов'язані. Тому проєктувальник і керівник мають працювати разом, маючи перед собою одні і ті ж цілі і задачі.

## **6.5 Поняття загальної теорії систем (ЗТС) і аспекти системного підходу**

ЗТС – науковий напрямок розробки сукупності філософських, методологічних, конкретно-наукових і прикладних проблем аналізу і синтезу складних систем довільної природи.

Метою ЗТС є побудова наукової платформи міждисциплінарного характеру. В основу покладено ізоморфізм процесів, які протікають в системах різного типу. Доведення ізоморфізму дає можливість перенесення знань з

однієї області в іншу.

ЗТС має задовольняти наступним вимогам :

- бути настільки загальною, щоб охопити всі вже існуючі теорії, які пов'язані в тому чи іншому розрізі з теорією систем. Наприклад, як часткові випадки з ЗТС має виводитись теорія динамічних систем, автоматів, алгоритмів, та ін;

- мати строго науковий характер, тобто терміни і визначення мають бути математично однозначні, що дає можливість дослідження абстрактних моделей реальних систем;

- науковий базис ЗТС має бути настільки фундаментальним, щоб її висновки мали практичну цінність при вивченні будь-яких конкретних систем.

Огляд сучасного стану математики і робіт по абстрактній теорії систем показує, що найбільш придатними є наступні рівні абстрактного опису систем :

Символьний або лінгвістичний – найбільш високий рівень опису, з якого інші рівні абстрагування є наслідками.

Теоретико - множинний (система як множина).

Абстрактно-алгебраїчний (групи, кільця, поля).

Топологічний (перетворення при наявності інваріанта).

Теоретико-інформаційний.

Динамічний.

Евристичний.

Прикладною галуззю ЗТС є системотехніка. Вона використовує засоби і методи ЗТС: метод синтезу і аналізу складних систем, тобто цілеспрямованих і штучно організованих людиною. В основі лежить методологія системного проектування.

### **6.5.1 Аспекти системного підходу**

Системний підхід можна розглядати як методологію проектування, загальну концептуальну основу, новий науковий метод, метод аналізу організацій, системне управління, метод, що пов'язаний з системним проектуванням, дослідженням операцій, економічними оцінками, а також як прикладну ЗТС.

1) Системний підхід, як методологія проектування

(екстроспекція, оптимальність, роль проектувальника).

2) Системний підхід, як загальна концептуальна основа впливає з основної задачі ЗТС про знаходження ізоморфізму між системами різної природи по властивостях і структурах. Властивості і структури: визначення подібних властивостей, структур і явищ дає можливість збільшити рівень загальності законів, сфера застосування яких обмежена. При системному підході узагальнення здійснюється з врахуванням способу організації систем, засобів обробки, отримання і видачі інформації, способу поведінки, регулювання і адаптації систем до різних дій (функціонування). Рівень загальності досягається шляхом введення загальних позначень і термінології. Це формує системне мислення при дослідженні зовні не пов'язаних систем. Методи, розв'язки і моделі: збільшення загальності досягається шляхом знаходження області, у яких одні і ті ж моделі описують зовні не пов'язані між собою явища (наприклад ланцюги Маркова описують відмови у мантах, розподіл правопорушень, черги).

Загальна методологія, на відміну від часткової, має меншу можливість деталізації. Як і в інших науках, в СП виникає проблема дуалізму:

- простота і складність;
- оптимізація і субоптимізація;
- ідеалізація і реальність;
- консерватизм і новаторство;
- домовленість і згода.

3. Системний підхід як наукова методологія. Науковий підхід, який розкриває фізичну природу явищ, має бути доповнений методологією, яка пояснює явища у живих системах. Це досягається внаслідок розвитку системної парадигми. Ця методологія має справу з такими процесами, як народження, життя, адаптація, розвиток, пізнання, причинність, смерть.

Виходячи з цього, СП вимагає якісно нового раціонального мислення, яке доповнює традиційну наукову парадигму. Крім того, СП дає можливість розв'язку проблем, пов'язаних з такими нестійкими поняттями, як цінність, судження, переконання, почуття.

4. Системний підхід як методологія аналізу організацій.

Організація – система, якій притаманна певна мета,

створена людиною для задовільнення її потреб.

СП дає можливість розглядати організацію як ціле з метою досягнення максимальної ефективності всієї системи незважаючи на наявність у її компонентів прагнень, що викликають протиріччя.

При цьому функціонування організації описується за допомогою системної термінології: кібернетика, відкритість і замкнутість системи, саморегулювання, рівновага, зростання, стійкість, відтворюваність, розпад та ін.

5. Системний підхід як система управління.

Для великих організацій притаманні проблеми, розв'язок яких потребує комплексного підходу і неможливий без використання системної парадигми.

#### **6.5.2 Систематика наук і систем**

Області існування класифікуються виходячи з наступних умов (чи є системи) :

- живими чи неживими;
- абстрактними чи конкретними;
- відкритими чи замкнутими;
- з високою чи низьким ступенем ентропії;
- простими організованими, складними неорганізованими чи складними організованими;
- з зворотнім зв'язком чи без нього ;
- ієрархічно впорядкованими ;
- організаціями.

Властивості і область існування систем з накладеними на них обмеженнями визначається науковий підхід та методологію, яка має бути використана при дослідженні систем.

Абстрактні – системи понять, конкретні включають також суб'єкти і об'єкти. Абстрактні і конкретні поняття володіють двоїстістю.

Всі живі системи є тільки відкритими і володіють властивостями: народжуваність, смерть, розвиток, розмноження.

Неживі системи – відносно замкнуті. Наявність зворотного зв'язку наділяє їх деякими властивостями, які

притаманні живим системам.

Замкнута система – розглядаються вхід і вихід і не враховуються зовнішні зв'язки. Всі живі системи є відкритими (закрита жива система буде прямувати до самознищення). Замкнуті системи розвиваються у напрямку досягнення стану стійкої рівноваги, який визначаються початковим станом системи. При зміні початкового стану зміниться і стан рівноваги. У відкритих системах кінцевий стан може бути досягнутий при різних початкових станах за рахунок взаємодії з навколишнім середовищем.

У кібернетиці і ЗТС ентропія характеризує величину різноманітності системи, тобто ступінь невизначеності при виборі з великої кількості можливих варіантів. Ентропія, невизначеність, неупорядкованість – взаємопов'язані поняття.

Живі системи є складними організованими, неживі можуть бути простими організованими і складними неорганізованими.

Прості організовані системи утворені послідовним з'єднанням компонентів, дія яких підлягає причинно-наслідковим зв'язкам, при чому не існує замкнутих циклів. Складність проявляється характером взаємодії, який необхідно враховувати при кількості компонентів більше трьох.

Складні неорганізовані системи – хаотичні.

Живі системи не можуть бути описані ні законами динаміки, які базуються на вивченні загальних властивостей компонента, ні ймовірнісними методами.

Складні організовані системи володіють наступними властивостями:

- на відміну від складних неорганічних, де кількість компонентів прямує до нескінченості, тут є скінчена кількість компонентів;
- поділ системи на компоненти може здійснюватись доти, доки вся система не розпадеться;
- поряд з властивостями, які обумовлені складовими частинами системи, остання володіє власними властивостями.

### 6.5.3 Мета і цілеспрямована поведінка

**Телеологія** – філософське вчення, яке дає опис законів Всесвіту з позиції кінцевих цілей, які можуть відноситись до досить далекого майбутнього.

Однак положення про те, що життя визначається і управляється кінцевою метою, яка визнається майбутнім, призводить до протиріччя з поняттям одно направленості течії часу.

Три типи поведінки : цілеспрямована, нецілеспрямована і керована. Цілеспрямована і керована направлені на досягнення деякої мети або деякого стану системи.

Цілеспрямованість визначається істинами :

- 1) Якщо поведінка системи цілеспрямована, то вона має бути частиною якоїсь підсистеми.
- 2) Цілеспрямована поведінка переслідує деяку мету.
- 3) При цілеспрямованій поведінці між системою і надсистемою може бути взаємодія.
- 4) Поведінка може бути пов'язана з навколишнім середовищем, звідки поступає інформація, яка вказує на те, чи сприяє вибрана поведінка досягненню мети.
- 5) Цілеспрямована система завжди здійснює вибір з деяких можливих напрямків діяльності.
- 6) Вибір поведінки визначає кінцевий результат.

### 6.5.4 Ієрархія у теорії систем

Поняття ієрархії використовують з метою впорядкування системи у відповідності з вибраними критеріями.

Ієрархія по Боулдінгу :

1. Неживі системи:
  - 1.1 Статичні структури.
  - 1.2 Прості динамічні структури.
  - 1.3 Кібернетичні структури з циклами .
2. Живі системи:
  - 2.1 Відкриті системи з структурою, що забезпечує самозбереження (рівень клітин).
  - 2.2 Живі організми з низькою здатністю сприймати інформацію (рослинний світ).

2.3 Живі організми з досить високим ступенем сприйняття інформації, але без самосвідомості.

2.4 Люди (самосвідомість, мислення, нетривіальна поведінка).

2.5 Соціальні системи і організації.

2.6 Трансцендентні системи, які лежать за межами наших знань.

Організація (по Опоху) – по критерію мислення, частково самокерована система, яка володіє наступними характеристиками:

- 1) сутність : організація є система типу людина-машина;
- 2) структура: має володіти здатністю вибирати напрямок діяльності, відповідальність за яку може бути поділена між елементами системи на основі їх функцій, місцезнаходження та інших ознак;
- 3) комунікація : визначає поведінку і взаємодію підсистем;
- 4) вибір рішення : елементи розподіляють між собою задачі і відповідні напрямки діяльності.

#### **6.5.5 Порівняння двох підходів**

Порівняння систем, до яких застосовуються ці підходи, наведено в таблиці 6.2.

Недоліки механіко-аналітичного підходу :

- неможливість пояснити сутність таких понять, як організація, самозбереження, цілеспрямованість;
- неможливість дослідження систем, для яких неможлива декомпозиція;
- поняття цілеспрямованості не може бути пояснене ні теологічною теорією, ні причинно-наслідковими відношеннями теоретичної фізики.

Переваги системного підходу :

- використовується цілісний підхід до систем, тобто всі явища розглядають як ціле;
- зростає загальність часткових законів шляхом знаходження подібних структур (ізоморфізму) незалежно від сфери їх застосування;
- сприяє використанню математичних моделей, які

завдяки своїй загальності визначають аналогії між системами, тобто дають можливість перейти від аналізу змісту до аналізу структури;

- сприяє єдності наук, тобто ЗТС можна розглядати, як систему систем, яка вказує розбіжність і схожість різних дисциплін.

Таблиця 6.2 - Порівняльні характеристики систем, до яких застосовується аналітико-механічний і системний підходи

| Властивості систем     | Характеристики систем з механіко-аналітичним підходом                          | Характеристики систем з системним підходом                                         |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Живі і неживі          | неживі                                                                         | живі                                                                               |
| Відкритість            | замкнуті, замкнуті з зворотнім зв'язком                                        | відкриті                                                                           |
| Можливість поділу      | ціле поділяється на складові елементи                                          | ціле є неподільним                                                                 |
| Об'єднання             | адитивність                                                                    | суперадитивність                                                                   |
| Взаємозв'язки          | слабкий взаємозв'язок (складові можуть бути розділені і ізолювані)             | сильний взаємозв'язок (складові не можуть бути розділені)                          |
| Складність             | прості організовані і складні неорганізовані                                   | складні організовані                                                               |
| Основні поняття        | сила і енергія                                                                 | ентропія і кількість інформації                                                    |
| Ентропія і порядок     | рівновага – найвищий ступінь неупорядкованості                                 | система негентропійна за рахунок отриманої енергії ззовні чи обробленої інформації |
| Мета дослідження       | вивчити минуле (причинність)                                                   | майбутнє (наслідки)                                                                |
| Організація і ієрархія | властивості систем більш високого рівня можна вивести з властивостей підсистем | властивість організації не може бути виведена з властивостей підсистем             |

## 6.6 Процес прийняття рішень (ПР)

Процесу проектування систем притаманні наступні функції:

- прийняття рішень;
- формулювання проблеми;
- кількісне визначення;
- оцінка;
- оптимізація;
- субоптимізація;
- ієрархічна організація;
- управління;
- планування.

**Прийняття рішень** – це дія, яка полягає у виборі одного з декількох варіантів в умовах невизначеності.

Цілеспрямована діяльність людини полягає в прийнятті рішень для досягнень певної мети.

В загальному процес прийняття рішення (ППР) можна представити як ітеративну процедуру, будь-який цикл якої включає декілька послідовних кроків (рис. 6.1).

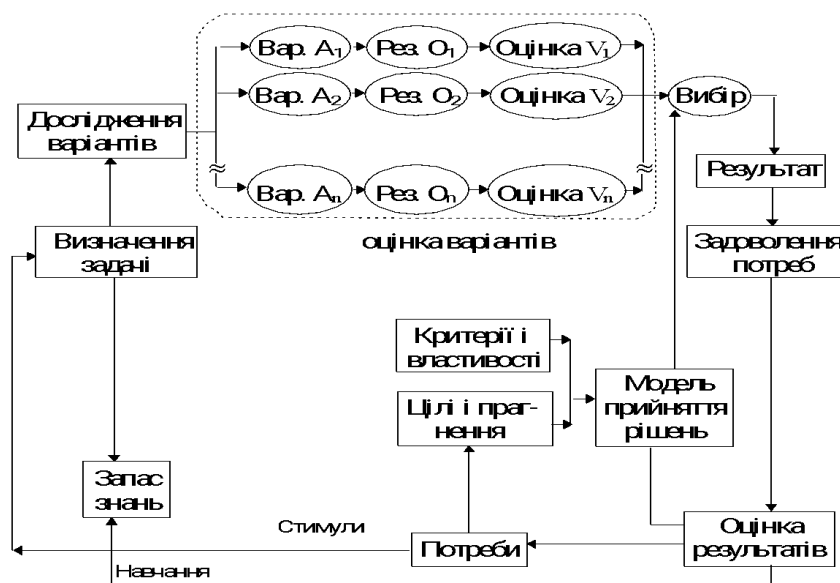


Рис. 4- Процес формування рішення

Рисунок 6.1 - Процес формування рішення

Реалізація функції прийняття рішень виконується при умові постановки задачі, яка потребує розв'язку або при необхідності задовольнити яку-небудь потребу.

Крок визначення задачі є підзадачею основної задачі.

**Варіанти** – різні стратегії, за допомогою яких можуть бути реалізовані прагнення. Кожен варіант має один або декілька результатів. До вибору варіантів кожен можливий результат оцінюється виходячи з ступеня його корисності

згідно з визначеним критерієм, формування якого вводиться у модель ПР.

Внаслідок неспівставимості якісних характеристик різних варіантів виникають проблеми кількісного визначення і виміру. Реалізація вибраного варіанту призводить до результатів, які мають у визначених межах задовольняти початковим потребам. Для оцінки ступеню задоволення потреб вибраним варіантом проводиться повний цикл. Порівняння очікуваних і досягнутих результатів може призвести до модифікації вихідної задачі і здійснення нового циклу.

#### **6.6.1 Взаємозв'язок потреб і прагнень**

Як правило, задовольнити всі потреби неможливо. Тому здійснюється вибір підмножини потреб, яка називається бажанням. В подальшому визначається ступінь прагнення, який визначає рівень досягнутого. Ступінь прагнення в значній мірі залежить від попередніх спроб досягнення мети. Ієрархія прагнень породжує пріоритети. Потреби, сподівання і компроміси поступово перетворюються в цілі і прагнення. Даний процес схематично показано на рисунку 6.2.

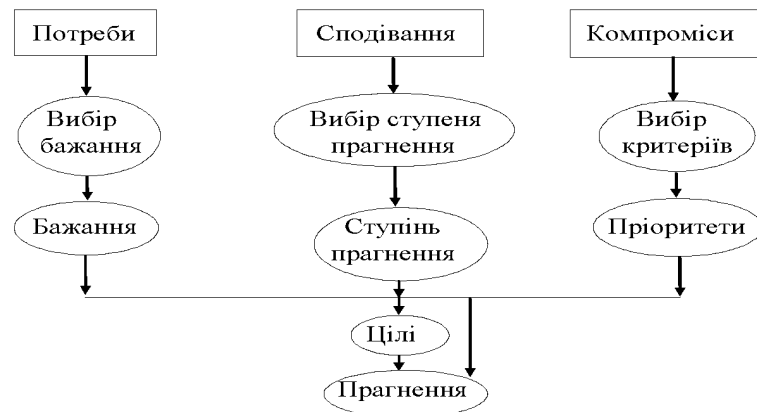


Рис.6.2 - Взаємозв'язок потреб та прагнень

Рисунок.6.2 - Взаємозв'язок потреб та прагнень

Процес пошуку варіантів на теперішній час не достатньо досліджений. Одна з теорій описує його, як процес формування системи мета - засоби - результати. При цьому аналізуються можливі втрати, а задачі і цілі піддаються декомпозиції. У відповідності з концепцією консерватизму шукаються тільки ті варіанти, які в незначній мірі відрізняються від вибраних позицій. Ця стратегія виходить з того, що новачинні рішення є досить ризикованими внаслідок недостатньої інформованості та слабкої передбачуваності можливих наслідків.

Системний підхід у своїй психологічній основі протилежний концепції консерватизму, оскільки тут розглядається проблема в цілому.

#### 6.6.2 Межі раціональності

Процес пошуку залежить не тільки від предметної сфери і від широти розглянутих варіантів, але і від їх кількості.

**Межі раціональності** (Мерч, Сейман) – обмеженість внутрішніх можливостей індивідуума по охопленню і

порівнянню більш, ніж декілька варіантів одночасно. Порівняння ускладнюється по мірі зростання кількості змінних, які описують варіанти. Як правило, спочатку розглядають максимально можливу кількість варіантів для врахування всіх можливих, потім по мірі введення обмежень в подальшому аналізі залишається тільки декілька.

Межі раціональності стосовно організацій визначається вибором задач, які організація вважає в своїй компетенції.

Компетентність організацій визначається компетентністю її членів, тому при розширенні складу організації її межі раціонального розширюються.

## **6.7 Світогляд ОНР**

Світогляд ОНР означає концепцію побудови світу, властиву ОНР. На світогляд ОНР впливають наступні фактори:

- 1) вихідні передумови стосовно предметної області (предметні передумови) і стосовно системи цінностей (ціннісні передумови);
- 2) допущення відносно елементів задачі;
- 3) пізнавальний стиль ОНР;
- 4) системи пізнання, завдяки яким емпіричні факти і результати досліджень стають елементами однієї системи.

Система пізнання Аристотеля – спостереження.

Система пізнання Галілея – дослідження.

### ***1. Вихідні передумови.***

Вихідні передумови або задаються ОНР, або впливають з емпіричних фактів чи інформацією, якою володіє ОНР.

Предметні передумови (по Сеймуру) розглядаються як технічна інформація. Як правило, з більш характерних рис, саме вони потребують більш якісної оцінки.

Ціннісні передумови пов'язані з поняттям блага, мети і відносяться до індивідуальних цінностей або цінностей системи.

*Приклад.*

Вихідні передумови: проект реконструкції вулиці.

Предметні передумови: інженерні і фінансові проблеми.

Ціннісні передумови: мета і результат реалізації проекту – прибуток, джерело прибутку та ін.

Як правило ціннісні передумови носять етичні аспекти: добре - погано, вигідно - не вигідно. Однак необхідно

врахувати, що передумови зовні предметні можуть нести етичні аспекти.

## **2. Припущення.**

Припущення розглянуте як визначення з точки зору ОПР на часткові специфічні аспекти задачі. Останні дослідження в області планування підтверджують, що припущення суттєво впливають на стратегії і плани, які будуть вибрані ОПР.

### **2.1 У промисловості.**

Припущення мають зміст індивідуальних концепцій, понять, визначень, інтерпретацій, які мають відношення до наступних питань :

- до масштабів діяльності підприємства: виробляти один вид продукції чи декілька, планування ринку (регіональний, загальнонаціональний, світовий), укрупнення підприємства по вертикалі чи по горизонталі;
- чи вважає адміністрація, що проблеми у всіх галузях є схожими або індивідуальними;
- чи вважає адміністрація, що торгівельний оборот необхідно збільшити;
- думка адміністрації відносно визначення конкурентоспроможності підприємства (пріоритет кількісних або якісних показників);
- чи є наукові дослідження і промисловий розвиток необхідною умовою чи наслідком конкуренції;
- чи враховує адміністрація, як споживачі ринку збуту, що передбачається, будуть відноситися до іноземного впливу;
- вважає адміністрація споживачів консерваторами чи новаторами.

### **2.2 В області освіти:**

- модель освіти як суспільний інститут (відображає точку зору, що людська натура є піддатливою і шляхом впливу на неї інституту освіти може її формувати);
- модель освіти як шлях до вдосконалення : студенти і викладачі прагнуть підпорядкувати свої внутрішні прагнення вдосконаленню знань;
- модель освіти як ринковий механізм: припускається, що мета освіти полягає у задоволенні потреб у кваліфікованих спеціалістах всіх сфер виробництва, аналогічно тому, як задовольняються потреби в товарах і послугах;
- модель освіти як процес вибору : освіта розглядається з

точки зору, які мають або інтелектуальні можливості, або матеріальну базу для досягнення успіху.

### **2.3 У сфері суспільного життя:**

- роль більшості і меншості у формуванні суспільної стратегії;

- роль індивідуума;

- роль суспільних обговорень у розв'язку конфліктів;

- бажана ступінь підпорядкування кожним членом суспільства своїх інтересів інтересам суспільства;

- ступінь свободи дій індивідуума;

- роль політичного діяча у формуванні політики;

- роль і вплив груп;

- система відбору (вибори чи призначення).

### **3. Пізнавальний стиль.**

Він пов'язаний з здійсненням інтелектуальної діяльності, тобто циклу сприйняття - усвідомлення. Залежить від генетично визначеного складу розуму (внутрішній фактор) і зовнішніх факторів (освіта і досвід). Охоплює весь спектр інтелектуальної діяльності від евристики до аналізу.

Аналітичному судженню притаманне дослідження проблеми шляхом її декомпозиції. Евристичний підхід у своїй основі є інтуїтивним і прагне охопити проблему в цілому. Ці дві крайності називаються проблемно-незалежними і проблемно-залежними способами судження, які реалізуються на основі здатності ОПР виділяти систему з оточуючого середовища.

Пізнавальний стиль і процес мислення проектувальника є засобом дослідження множини доступних проектів. Як один з таких проектів можна розглядати і класифікацію самих дослідників по типу мислення:

- систематизуючому;

- інтуїтивному;

- рецептивному.

Ця класифікація здійснюється на основі тестів.

### **4. Система пізнання.**

Це організація діяльності, направлена на отримання знань. Ця система є цілеспрямована, виходить з існуючої мети і прагне до оптимізації цільової функції.

### 6.7.1 Приклад: система карного діловодства

Загальну структуру системи карного діловодства наведено на рисунку 6.3.

Структура програм визначає органи, діяльність яких направлена на досягнення мети. Наприклад: ряд програм, які б могли ввійти в структуру програми системи карного діловодства:

- 1) попередження злочину - створення необхідного оточення;
- 2) розслідування;
- 3) судовий розгляд і винесення вироку;
- 4) нагляд і арешт;
- 5) повернення прав;
- 6) адміністративна діяльність;
- 7) проведення досліджень;
- 8) освіта і спеціальна підготовка;
- 9) законодавча діяльність.

1-ий рівень Система в цілому



Рис. 6.3 - Рівні підсистем, загальної системи та системи в цілому

Рисунок 6.3 – Рівні підсистем, загальна системи та системи в цілому

Таблиця 6.2 - Матриця програми - органи кримінального діловодства.

| Програми               | Органи, які входять в систему |          |                                     |       | Органи, зовнішні до системи       |                |                            |
|------------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------|----------------------------|
|                        | Поліція                       | Прокурор | Управління в справах не повнолітніх | Тюрми | Органи, які забезпечують добробут | Система освіти | Ділова сфера промисловості |
| Попередження           |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |
| Розслідування          |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |
| Суд                    |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |
| Відновлення прав       |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |
| Дослідження            |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |
| Освіта                 |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |
| Законодавча діяльність |                               |          |                                     |       |                                   |                |                            |

Застосування системного підходу до система карного діловодства дозволило створити структурну схему (рис. 6.4).

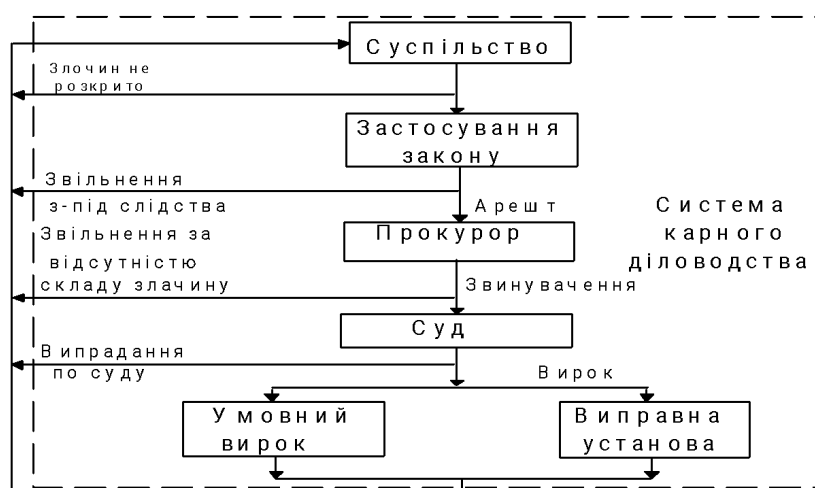


Рис. 7.4 - Система карного діловодства

Рис. 6.5 Система карного діловодства

Місце системи карного діловодства у загальній системі та місце правопорушника в ній показано на рисунку 6.5.

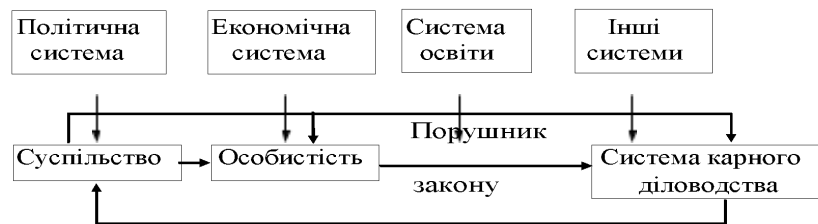


Рис. 6.5 - Місце порушника закону в системі

Рисунок 6.5 - Місце порушника закону в системі

Відповідальність за долю однієї особи або клієнта повинна виходити за границі підсистеми. Всі органи, разом узяті, повинні відповідати за те, як будуть поводитись з правопорушником з моменту входу в систему і до моменту виходу з неї.

Проблеми, які постають перед будь-яким з органів системи в ході його функціонування, знаходяться під впливом діяльності інших органів системи. Тому беззмістовно працювати відмежувавшись жорстко від інших органів.

Для того, щоб ОПР на рівні системи почувала персональну відповідальність за вихід її системи, необхідно, щоб ця особа в тій чи іншій мірі приймала участь у діях, які поетапно приводять до необхідних результатів роботи його системи.

### 6.7.2 Цикл прийняття рішень

**Цикл прийняття рішень** (досягнення істини) : очевидна реальність –світогляд –система пізнання –істина (рішення).

Структура, зображена на рисунку 6.6, показує взаємодію

між очевидною реальністю, світоглядом, системою пізнання з одного боку і формулювання задачі з іншого.

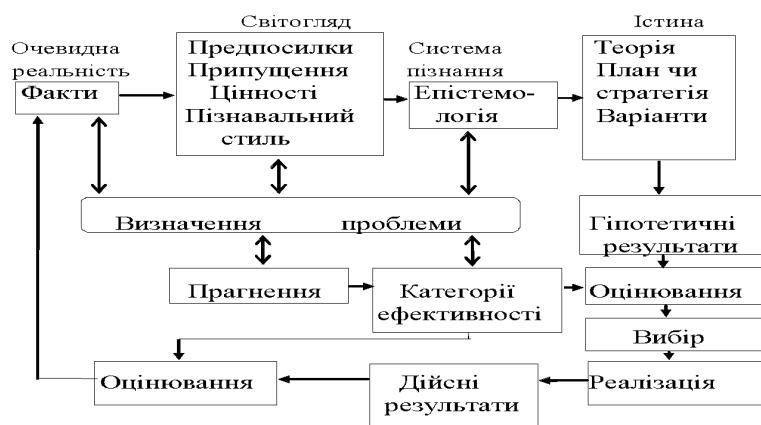


Рисунок 6.6 - Цикл прийняття рішення  
Процес ітеративний. Визначення проблеми впливає на інтерпритацію фактів реальності і в той же час відчуває їх вплив. На рисунку 6.7 наведено приклад такого процесу.



Рис. 6.7 - Прийняття єдиного плану споживачем і розробником

## **6.8 Процес проектування систем. Системна парадигма**

Цикл формування рішення, коли ОПР перетворює реальні факти у планові стратегії, є одним з аспектів системної парадигми. А в загальному системна парадигма – послідовність функцій проектування, яка є неперервною, оскільки виконується постійно в циклі, і кібернетичною, оскільки для неї характерні зв'язки.

### 6.8.1 Структура процесу проектування систем

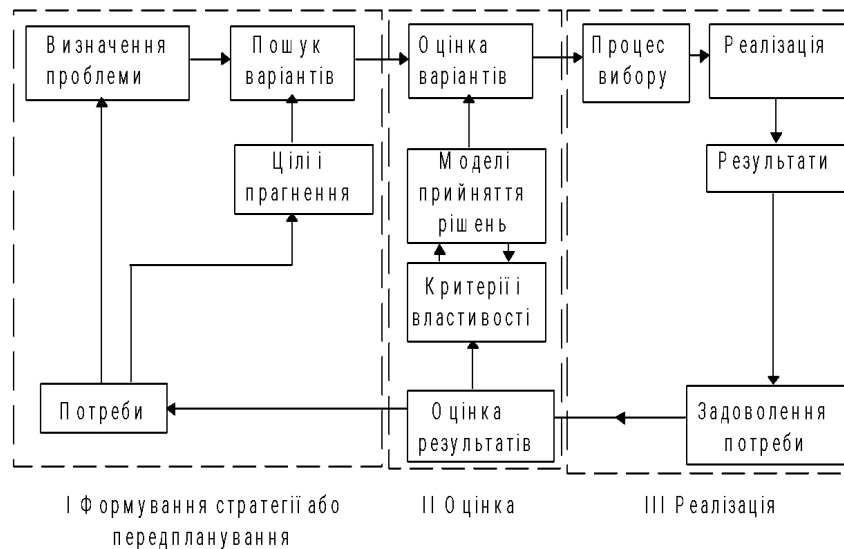


Рис. 6.8 - Цикл формування рішень

#### 1. **Формування стратегії.**

1.1 Узгоджуються визначення задачі, яка потребує рішення.

1.2 Визначається світогляд ОНР (вихідні передпосилки, припущення, система цінностей, пізнавальний стиль).

1.3 Досягається згода про основні методи, які застосовуються для інтерпретації реальних фактів.

1.4 Досягається згода про результати, які очікуються проектувальником і замовником.

1.5 Починається пошук і розробка варіантів.

2. **Оцінка.** Проводиться оцінка запропонованих варіантів на предмет задоволення цілям і прагненням, сформованим на першому етапі.

2.1 Проводиться ідентифікація результатів і наслідків, властивих кожному варіанту.

2.2 Підтверджується, що вибрані властивості і критерії

оцінки результатів відповідають поставленим цілям.

2.3 Вибираються моделі вимірів і розв'язків для оцінки і порівняння варіантів.

2.4 Узгоджується методика вибору кращого варіанту.

### **3. Реалізація.**

3.1 Оптимізація, визначення найкращого рішення.

3.2 Субоптимізація – спроба оптимізації з доведенням того, що найкращий розв'язок отримати неможливо.

3.3 Визначається складність, яка пов'язана з можливим спрощенням реальності.

3.4 Вирішення конфліктів і пошук компромісу.

3.5 Критична оцінка результатів, впровадження проекту системи з оптимістичної і песимістичної точок зору до можливих досягнень цілей і сподівань.

3.6 Повернення на початок циклу незалежно від отриманих результатів.

Кожен з вказаних етапів може бути розкладений на послідовність кроків, сукупність яких складає загальний процес проектування системи (рис. 6.9).

Визначення проблеми є найбільш відповідальним кроком в усьому процесі і є базовим.

#### **Фаза 1. Формування стратегії**

1.1 Реципієнти (споживачі) потреби яких необхідно задовольнити.

1.2 Потреби, які необхідно задовольнити.

1.3 Спосіб визначення ступеня задовільнення потреб.

1.4 Коло людей, які беруть участь у проекті, тобто всі, хто може впливати на проект або відчувати його вплив.

1.5 Критична оцінка світогляду учасників проекту.

1.6 Загальний опис (без деталізації) методів розв'язку задачі.

1.7 Границі системи.

1.8 Об'єм наявних ресурсів в порівнянні з необхідними.

1.9 Реальні сподівання від проекту.

2. Визначення світогляду споживачів і проектувальників.

Цей крок дуже взаємодіє з першим.

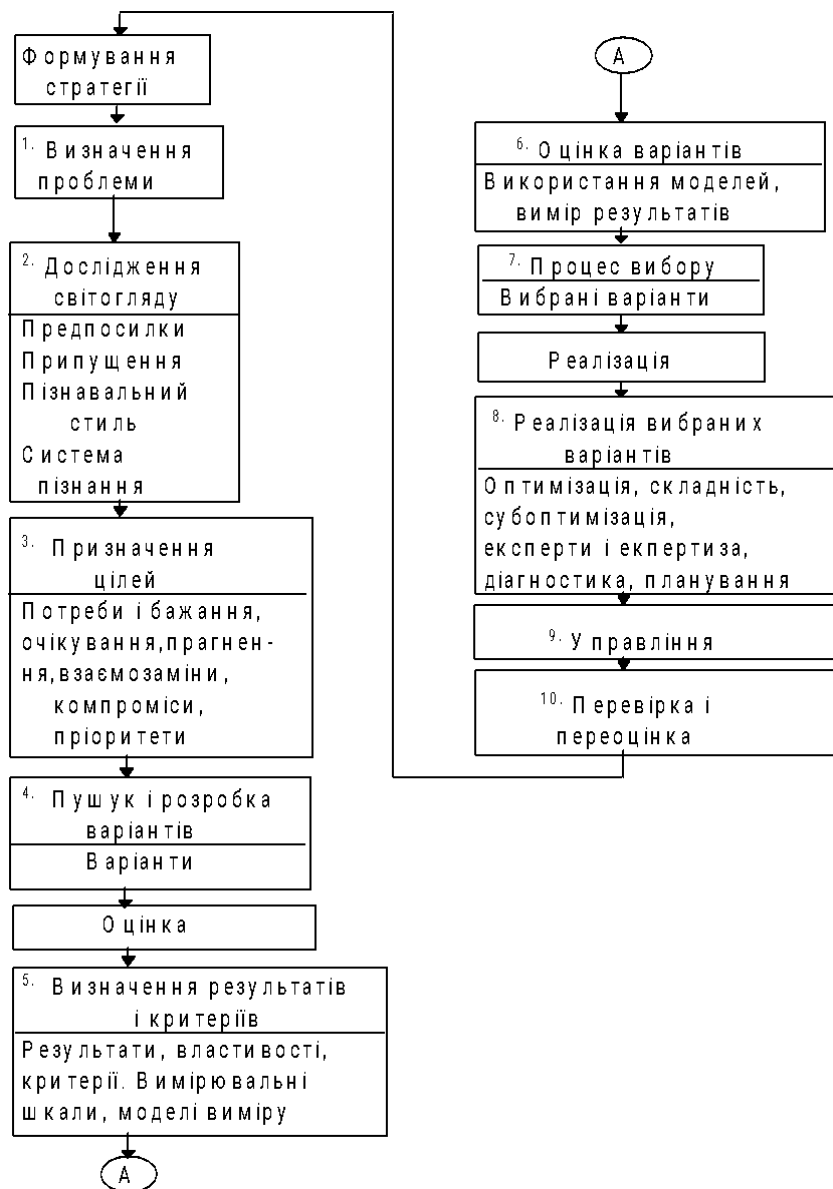


Рисунок 6.9 - Процес проектування систем

3. Призначення цілей. Шляхом врахування відносних інтересів форм цілі, які мають задовольнити всіх. Тут враховуються:

3.1 Потреби і бажання.

3.2 Сподівання і прагнення.

3.3 Взаємозаміни, компроміси, пріоритети.

3.4 Етичні аспекти.

4. Пошук і розробка варіантів.

4.1 Визначити варіанти програми і взаємозв'язки учасників без матриці "програма-учасники", що дає можливість дослідити зв'язки між програмами і ОПР, програмами і споживачами, програмами і затратами, затратами і ефективністю та ін.

4.2 Визначити результати з метою оцінки варіантів.

4.3 Узгодження рішень.

### **Фаза 2. Оцінювання**

5. Визначення результатів, властивостей, критеріїв, вимірювальні шкали, моделі вимірів.

5.1 Визначення результатів – один з найбільш складних етапів проектування. До останнього часу всі результати, окрім матеріальних, не приймалися до уваги, тобто, якщо результат не можна виміряти, його не можна розглядати. Але методологія системного підходу говорить, що довільний результат, який може бути виявлений, підлягає виміру.

5.2 Визначення результатів не може бути відокремлено від проблеми виділення тих властивостей, які підлягають виміру. Результатам відповідають кількісні міри (міри ефективності). Міра ефективності є зв'язуючою ланкою між першою і другою фазами.

5.3 Визначається вимірювальна шкала. Якщо явища і їх властивості можуть бути описані і пояснені, то вони підлягають якому-небудь кількісному виміру, тобто існує вимірювальна шкала.

5.4 Модель вимірів використовується для переходу від спостережень до числових функцій. Включає в себе пояснення подій і явищ і дозволяє сформулювати і обґрунтувати стратегію формування рішень.

5.5 Визначення придатності даних. Вже на початку процесу проектування досліднику необхідно усвідомити, які

джерела інформації (книги, публікації, документи, тощо) є у нього в розпорядженні і зробити оцінку їх відповідності цілям проекту.

#### 6. Оцінювання варіантів.

Для оцінки і порівняння різних пропозицій вирішення проблеми використовують моделі, які дають можливість ОПР формалізувати задачу. Модель може бути представлена від опису рекомендацій до абстрактної математичної побудови. У будь-якому випадку модель розглядається як формалізація проблеми для полегшення її розв'язку. Але необхідно вважати, що моделі ніколи не замінять ОПР.

*Моделі :*

- моделі вимірів;
- моделі прийняття рішення – для оцінки варіантів і відповідних їм результатів. Вони дають стандартну процедуру обчислення і порівняння ресурсів і результатів, затрат і прибутків та інших характеристик ефективності системи. Можуть бути одно - і багатоцільові;
- моделі досягнення компромісів – для оцінки і порівняння переваг конфліктних цілей і результатів;
- оптимізаційні моделі;
- моделі оцінок і досягнення згоди (кількісний вимір міркувань при переході від множини індивідуальних міркувань до глобальної оцінки);
- моделі систем пізнання – показують, як, виходячи з конкретних суджень, може бути отримана істина;
- моделі діагностування – опис процедури систематизованого пошуку у випадку збоїв у роботі системи.

#### 7. Процес вибору.

Реалізація вибору вимагає деяку дію, яку необхідно розглянути у наступній фазі.

### ***Фаза 3. Реалізація***

#### 8. Реалізація вибраних варіантів.

Реалізація є найбільш важкою і схильною до невдач фазою. Проектування не може бути завершено без реалізації. Проектувальник має прагнути до оптимізації цільової функції, однак оптимізація можлива тільки для замкнутих моделей. Протиріччя цілей і неможливість чітко визначити моделі

відкритих систем не дає можливості досягти оптимуму. У крайньому випадку можна досягти локальних екстремумів, які як правило не відповідають всім критеріям оптимальності системи, тому можлива тільки субоптимізація або перехід до конкретики, який полягає у використанні комбінації субоптимумів.

Узагальнення і узгодження проекту починається з узгодження цілей і можливих варіантів замовника і формування стратегії розв'язку. При цьому використовуються моделі досягнення згоди.

### **6.8.2 Експерти і експертиза**

У авторитарній і колективній теоріях узгодження експерти відіграють центральну роль при проектуванні і реалізації систем. Проектування яких систем потребує експертів, для яких система пізнання має узгоджувати точне формування наявних знань, в тому числі підсвідомих, з критичною оцінкою інтуїтивного сприйняття реальності.

#### **9. Управління системою.**

Управління системою полягає в порівнянні вихідних сигналів і результатів з наявними стандартними. Крім того, має бути можливість регулювання і налагодження системи для забезпечення її стабільності і руху до намічених цілей.

#### **10. Перевірка і переоцінка.**

Перевірка результатів призводить, як правило, до переоцінки проекту в цілому.

### **6.9 Цілі, пріоритети, компроміси**

Цілі мають множину аспектів і неперервно перетворюються під дією змін, які відбуваються у системі, у її прагнення до мети. Початкові цілі трансформуються у набуті.

Наприклад: Даунге дає наступну класифікацію цілей державних службовців:

- кінцеві цілі, пов'язані зі світоглядом індивіда на зміст і мету свого існування;
- суспільні цілі - цілі, які торкаються основних правил поведінки. Їх слід враховувати при прийнятті рішення, так як індивідум є членом суспільства;

- основні політичні цілі відносяться до суспільних, політичних, економічних стратегій, виконання яких, на думку індивідуума, обов'язкове для владних структур;

- головні особисті цілі - пов'язані з особистим життям (влада, гроші, престиж, комфорт, безпека);

- цілі, специфічні для даної організації.

Принципової різниці між списком цілей і їх ієрархією немає. Ієрархія пов'язана з системою цінностей. Моделі, які описують процес визначення цілей, можуть використовуватися для формування ієрархії цілей індивідуума і для формування системи цінностей.

Вважається, що службовець ПП не може прямо слідувати своїм основним цілям, нехтуючи інтереси підприємства. Це є основною відмінністю положення особи у приватній і державній організаціях.

Цілі організацій (по Перроу):

- суспільна ціль - має відношення до задоволення потреб суспільства. Уряд безпосередньо бере участь у процесі виробництва товарів і послуг, служить цим цілям. Корпорації виконують такі обов'язки шляхом виділення на це деякої частини ресурсів;

- цілі, пов'язані з результатами роботи організації; вони мають відношення до споживачів продукції організації, і змінюються зі зміною потреб споживачів.

- цілі системи - цими цілями є виживання, адаптація при зміні зовнішніх умов. Є особливо важливими при проектуванні систем;

- цілі, пов'язані з характеристиками продукції - мають відношення до того, якими б хотіла організація бачити результати своєї роботи. Ці цілі впливають на стратегію організації. Інколи ці цілі змінюють цілі системи;

- похідні цілі - пов'язані з впливом, який організація, будучи соціальним утворенням, здійснює на своє оточення в силу свого економічного або соціального змісту.

**Пріоритети** - можна розглядати, як формалізоване надання різних ваг властивостям рішення з метою надання більшого значення одним властивостям і меншого - іншим.

Пріоритети є важливим елементом при формуванні стратегії і прийнятті рішення.

Можна сказати, що пріоритет - вид ієрархії в цілях.

Надання ваг обумовлено політичною діяльністю, вимогами суспільства, існуючими моментами, результатами формального аналізу. Пріоритети змінюються в часі.

### 6.9.1 Взаємозаміни і компроміси

Вибір серед протилежних цілей веде до компромісу. На практиці оптимум розглядається, як реалізація процесу досягнення компромісу, тому можна вважати, що оптимальне рішення не абсолют, а узгоджений компроміс. Один з прикладів подано на рисунку 6.10.



Рис. 7.10 - Приклади компромісів

Рисунок 6.10 Приклад компромісів

Вивчення компромісів повинно бути формалізованим з метою забезпечення ОПР відповідними рекомендаціями по вибору варіантів.

#### **6.10 Кількісні визначення і виміри**

На стадії оцінки у системній парадигмі однією з основних процедур є вимір. Вона дає можливість оцінити і порівняти властивості і характеристики всіх можливих проектів.

##### **6.10.1 Поняття і визначення**

**Поняття** - це представлення думки у вигляді впорядкованих знань з можливістю їх передачі.

Системи понять утворюють концептуальну систему.

Поняття, пов'язані з суспільними науками, набагато важче піддаються визначенню, ніж поняття, які відносяться до природничих наук.

Наприклад, для визначення поняття роботи у фізиці використовуються два поняття: сила і відстань, які попередньо визначені.

Віддаль і довжина є основним елементом, який визначається у одиницях загального стандарту.

**Сила** - похідний елемент, і представляється через поняття маси і прискорення.

Поняття робота використовується і в суспільних науках: економіці, науці про виробництво, соціології та ін.

Тут визначення роботи пов'язане з визначенням дозвілля.

Одне з визначень роботи: трудова діяльність, яка систематично планується для досягнення мети.

Дозвілля - це добровільна діяльність, яка дає задоволення і не пов'язана з виконанням яких-небудь вимог.

Можна сказати, що це є дві крайності у людській діяльності.

Але існує деяка двоїстість. Так, наприклад, скошування трави є роботою для садівника і дозвілля для господаря.

В загальному "вільний від роботи" час слід поділяти на чисте дозвілля і інші види діяльності, які не можна віднести ні

до роботи, ні до дозвілля.

Практично, лише не багато видів діяльності можна розглядати, як дозвілля.

Зміст поняття робота може змінюватись при врахуванні відношення працюючого до власної діяльності.

Так роботу можна розглядати, як:

- тимчасову - отримування заробітку тимчасово;
- службу - постійний заробіток, робота для життя;
- заняття - тренування і оволодіння майстерністю, що приносить задоволення і співпадає з прагненням для досягнення поставленої мети;
- кар'єра - участь у здійсненні важливих програм, прагнення до виконання адміністративної роботи, до успіху;
- покликання - самостійне вивчення питань і здійснення наміченої програми;
- місіонерська діяльність - фанатичне прагнення для досягнення поставленої мети (життя заради роботи).

З прикладу визначення поняття роботи видно, що виникає проблема виміру, тобто яку із стандартних процедур слід застосовувати для кількісного визначення або знаходження чисельної характеристики виду діяльності, який нас цікавить (на основі зароблених грошей, затрачених зусиль, виробленої продукції).

Якщо взяти за онову витрачені сили, то виникає проблема, як враховувати фізичну або розумову роботу.

Якщо враховувати вироблену продукцію, то виникає питання, як оцінити діяльність, яка не пов'язана з валовою продукцією. Аналогічні поняття виникають при дослідженні продуктивності. В загальному при вимірі поняття виникають наступні питання:

- яка широта двозмістовності у визначенні для того, щоб два індивідууми зрозуміли його однаково без додаткових пояснень;
- чи містить визначення деякого об'єкта процедуру, за допомогою якої він може бути виміряний;
- чи визначає процедура стандартні умови, при виконанні яких вимір може бути здійсненим;
- чи можна повторити цю процедуру;
- чи є методи виміру такими, що незалежно від особи, яка за їх допомогою робить вимір, будуть отримані одні і ті ж

результати;

- чи допоможуть виміри отримати ОПР чітке уявлення про події і здійснити правильний вибір рішення;

- чи сприяють виміри встановленню причинних зв'язків між об'єктами, що вимірюються.

Якщо на більшу частину поставлених питань немає позитивної відповіді, то корисність результатів вимірів ставиться під сумнів.

### 6.10.2 Виміри

Проблема поняття виміру виникла дуже давно. В основному це було пов'язано з системою товарообігу, яка базувалася на неявній шкалі значень.

Древні філософи, зустрічаючись з проблемою оцінки якості виміру, ввели поняття деякого абсолюту (взірця, який по визначенню був оптимальний, вміщував в собі максимальну красу, точність, силу і т. п.).

Сучасна наука показує неспроможність поняття абсолюту і були введені штучні стандарти.

Вимір (по Кемпбелу) - це представлення властивостей за номерами (числами).

Номер володіє властивостями впорядкованості тільки завдяки довільному визначенню або домовленості. До номерів неможливе застосування операцій додавання та віднімання.

Числа - математичні поняття. Вони володіють властивостями впорядкованості завдяки реальним властивостям об'єктів.

Номери впорядковані довільним чином, а числа - за допомогою відношень, які володіють властивостями транзитивності, симетричності і антисиметричності.

Транзитивність:  $a R b \wedge b R c \Rightarrow a R c$ .

Симетричність:  $a R b \Rightarrow b R a$ .

Антисиметричність:  $a > b \Rightarrow b < a$ .

Множина термів, що утворюють ряд (терм - висловлювання) і володіють властивостями впорядкованості і, якщо між ними існує відношення, яке володіє властивостями транзитивності і антисиметричності, є числами.

Можливість застосування процедури додавання над

величинами, які характеризують властивості об'єкту, поділяються на два типи: адитивні та неадитивні.

Властивості об'єкту, які задовольняють закони додавання (є адитивні) є кількісними, а ті, які не задовольняють (неадитивні) - якісними.

По Аккофу:

- Існує два види властивостей: якісні і кількісні.
- Виміри можуть бути застосовані до обох видів, але кількісні властивості є вимірами більш високого рівня, ніж якісні.

- 3Рівень виміру властивості залежить від характеристик (транзитивності, симетричності, адитивності), що визначає шкалу вимірів.

### 6.10.3 Шкали вимірів

На теперішній час прийнято чотири шкали вимірів, які запропонував Стівенсон:

- шкала найменувань (класифікація встановлення шкали найменувань);
- порядкова шкала (непотрібна рівність (регуляризація) розміру класів, існування абсолютного нуля);
- інтервальна (потребує існування регулярності класів);
- шкала відношень (потребує існування початку координат і не може бути вибрана довільним чином).

1) **Шкала найменувань:** проста класифікація, позначення класів за допомогою імен або номерів для їх упізнання. Це є першим кроком у ієрархії процедур вимірів. Наприклад: у процесі обчислень схема розрахунку є шкалою найменувань (нумерація алгоблоків). В загальному вона призначена для встановлення еквівалентностей між елементами перетворення, завдяки якому можлива модифікація процесу вимірів без зміни результатів.

2) **Порядкова шкала:** - служить для побудови впорядкованого класу або встановлення співвідношень нерівності між числами або елементами, яким відповідають ці числа.

Допускається перетворення  $y = f(x)$  (твердість матеріалів, оцінка психологічних показників шляхом

тестування).

3) **Інтервальна шкала:** - призначається для встановлення рівності (нерівності) числових інтервалів.

4) **Шкала відношень:** - призначена для відновлення рівності (нерівності) числових відношень. Типи та приклади шкал наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 7.3 - Шкала вимірювань

| Шкала       | Дія                                                                      | Математичне співвідношення                                | Допустиме перетворення                           | Типовий приклад                                                   |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Найменувань | Встановлення рівності або еквівалентності номерів                        | $X = Z$<br>$X \neq Z$                                     | $Y = Z$                                          | Надання номерів для ідентифікації або класифікації                |
| Порядкова   | Побудова впорядкованого класу або встановлення співвідношення нерівності | $X > Z$<br>$X < Z$                                        | $Y = f(Z)$<br>$f(z)$ - монотонна функція         | Визначення якості матеріалів, встановлення співвідношень переваги |
| Інтервальна | Встановлення рівності інтервалів                                         | $(X - Y) = (W - Z)$<br>$(X - Y) \neq (W - Z)$             | $Y = a + cX$                                     | Температурна шкала Цельсія, Фаренгейта                            |
| Відношень   | Встановлення рівності відношень                                          | $\frac{x}{v} = \frac{z}{w}; \frac{x}{v} \neq \frac{z}{w}$ | $Y = bX$ (один степінь свободи, абсолютний нуль) | Довжина, температура по Кельвіну                                  |

#### 6.10.4 Вимір, як ієрархія моделей

З часів Декарта наукові відкриття в значній мірі повзані з методологією досліджень. В загальному вона полягає в наступному:

- 1) визначається явище (подія), яке повинне бути досліджене;
- 2) виконується спостереження;
- 3) на основі теорії, за допомогою якої робиться спроба

опису взаємозв'язків між змінними, які досліджуються, висувається гіпотеза;

4) ставиться експеримент з метою перевірки гіпотези і встановлення істинності вихідної теорії;

5) проводяться виміри;

6) на основі результатів експериментів встановлюється істинність або хибність теорії.

- якщо гіпотеза приймається, то теорія визначається правильно пояснюючою явище, що спостерігається; робляться узагальнення, формуються закони, визначаються прогнози на майбутнє;

- якщо гіпотеза не приймається, то проводиться наступний ітераційний цикл: гіпотеза - експеримент - перевірка.

#### 6.10.5 Ієрархія моделей

Процес виміру входить у ієрархію моделей, завдяки якій пояснюється і передбачається подія і явище. Ієрархія дозволяє здійснити перехід від якісних спостережень до кількісних тверджень. В свою чергу, за допомогою кількісних тверджень будуються доведення, робляться узагальнення та прогнози, за допомогою яких здійснюється вибір рішення. Один з варіантів ієрархії показано на рисунку 6.11.

1) **Процес** - результат спостережень дає концептуальну основу для опису процесів. Вона базується на виборі необхідних понять і визначень, які передають сутність процесу і гарантують однозначність при описі. Опис процесу стосується методів, які використовуються при дослідженні явищ. Модель процесу не є повною, якщо строго не визначено стандартні умови виконання спостережень. Якщо це не виконано, то виміри можуть бути не вірними.

2) **Теорія** - вивчає взаємозв'язок між факторами і змінними, які досліджуються.

Фактично вона є моделлю взаємозв'язків. Для визначення типу шкали за допомогою моделі встановлюють, чи задовольняють властивості умовам транзитивності, антисиметричності, адитивності.

На початковій стадії, коли модель включає в себе

розподіл понять по різних категоріях у відповідності з їх роллю, використовують шкалу найменувань.

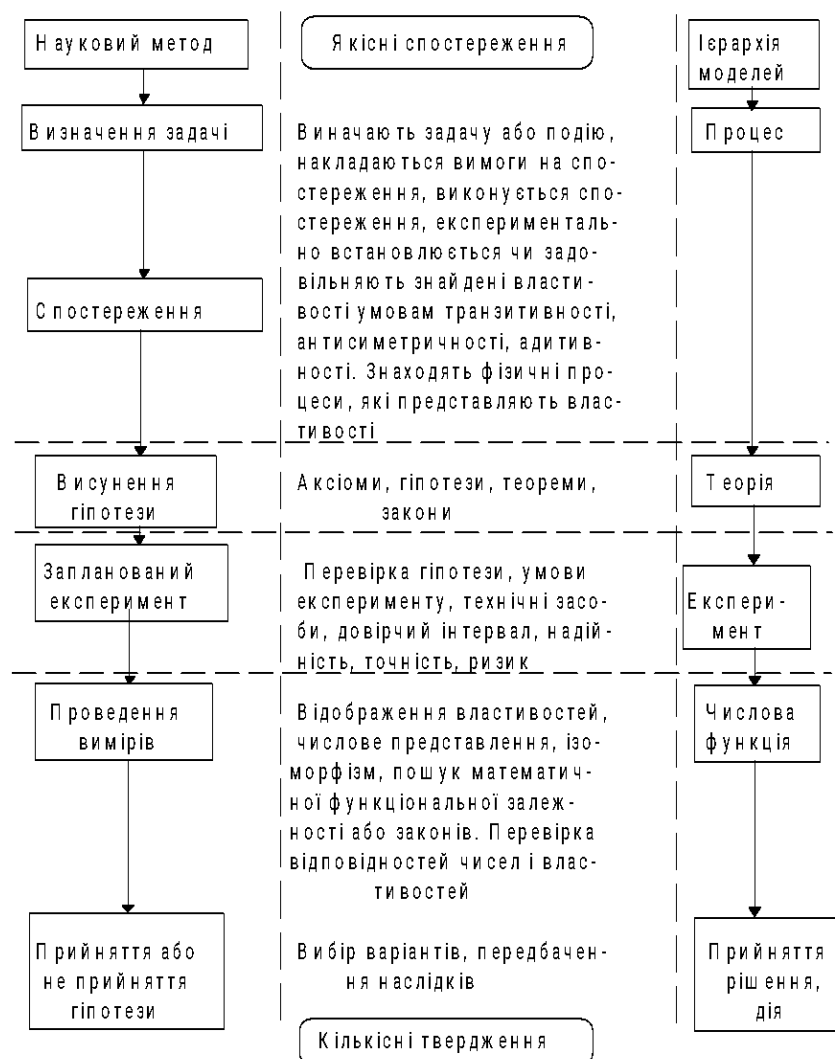


Рис. 6.11 - Ієрархія моделей, які використовуються в

## процесі вимірів

Наприклад: Це має місце при розподілі школярів по класах в залежності від віку, тобто, якщо вік встановлений, розбиття на групи не складає проблем, однак, якщо розподіл проводиться по більш складним факторам (віку і здібностям), то класифікація буде більш складною, і вихідну модель необхідно буде модифікувати.

Побудована таким чином модель повинна досліджувати фактори, які б могли передбачити майбутні успіхи школярів.

Ясно, що при модифікації в модель необхідно внести нові відношення, і перевірка гіпотез буде вимагати більш високий рівень вимірів з використанням інтегральної шкали і шкали відношень.

Тобто, для дослідження більш складних моделей необхідний більш високий рівень вимірів (збільшення "сили" шкали).

3) **Експеримент.** Для встановлення вірності відображення моделлю фактори, які досліджуються, постулюються і перевіряються гіпотезами. Перевірка містить вимір змінних величин моделі. Так, у найпростішому випадку, коли розподіл школярів робиться по віку, використовується шкала найменувань, якщо постулюється, що здібності пов'язані з віком, соціальним походженням, економічним станом і т. п., то необхідно встановити причинно-наслідковий зв'язок.

Модель експерименту повинна описувати процеси, методи, технічні засоби, ступінь достовірності, точність, на яку можна розраховувати.

4) **Числова функція.** При прийнятій гіпотезі необхідно побудувати математичну модель, яка в числових відношеннях характеризує відношення між властивостями і числовими характеристиками.

5) **Прийняття рішення** проводиться після того, як буде встановлений можливий причинно-наслідковий зв'язок між об'єктами, які досліджуються. Базуючись на цьому, можливо дослідити результати прийнятого рішення. Якщо вони не

відповідають сподіванням, то причини можуть бути у неправильності моделі або теорії, яка покладена в основу прийнятого рішення.

З блок-схеми на рисунку 6.12 видно, що вибір рішення здійснюється після встановлення причинно-наслідкових зв'язків, які приписуються досліджуваному об'єкту.

Припускаючи конкретний зв'язок, можна дослідити результати прийнятого рішення. Якщо результати не співпадають з очікуваними, то причиною цього може бути помилковість моделі або теорії, на яких базується вибір рішення.

Можливий випадок, коли доведено, що виміри використовуються, недостатньо для пояснення всіх можливих взаємодій навіть при врахуванні всіх необхідних факторів.

Для перевірки моделі постулюються і перевіряються гіпотези. Якщо вони вірні, то можливий прогноз на майбутнє. Існує тісний зв'язок виміру з теорією прогнозування в процесі переходу від якісних спостережень до кількісних тверджень.

Гіпотеза - числова функція, і можливо зробити наступні прогнози:

прогноз результатів досліду, який здійснюється для перевірки гіпотези;

прогноз поведінки числової функції, яка вибрана для опису властивостей явища, що досліджується;

прогноз результату, який повинен бути отриманий після прийняття рішень.

#### **6.10.6 Проблеми вимірів**

Чортмен характеризує вимір, як "діяльність, яка пов'язана з прийняттям рішення і направлена на досягнення поставленої мети". При цьому необхідно розглядати наступні проблеми:

- 1) мовна - як необхідно представити результати, щоб вони були доступні для розуміння всіх зацікавлених осіб;
- 2) деталізація проблем - які вихідні дані, в залежності від задачі, необхідно використати;
- 3) стандартизації - знаходження умов, при використанні яких буде гарантована правильність вимірів;

4) точності і контролю - оцінка відхилень і контроль результатів в різних умовах. Для визначення точності використовують наступні статистичні критерії:



- Середнє значення - як найкраща оцінка вимірюваної змінної.
- Стандартне відхилення від середнього значення - як найкраща оцінка точності засобів, за допомогою яких проводиться вимірювання.
- Стандартна похибка середнього значення або стандартне відхилення розподілу середніх значень - як найкраща оцінка можливих значень змінної, що вимірюється.
- Довірчий інтервал - дає впевненість в тому, що визначений інтервал містить істинне значення вимірюваної змінної.

#### 6.11 Визначеність, ризик, невизначеність і неясність

В теорії прийняття рішень розгадають чотири основні ситуації: визначеність, ризик, невизначеність, неясність.

Вибір цих понять визначається даними, якими володіє ОПР і його світорозумінням.

В умовах визначеності ОПР має повну інформацію про значення результатів і станів.

В умовах ризику відомі значення результатів і відносна ймовірність можливих станів.

В умовах невизначеності значення результатів може бути відомим, але не має інформації про ймовірність події, тобто явище чітко визначене, але не відомо чи здійсниться воно чи ні.

В умовах неясності подія чітко не визначена, тому її важко класифікувати.

**Приклад:** ОПР робить вибір між рішеннями

A1 - взяти парасолью,

A2 - не брати парасолью

якщо відомо два стани:

S1 - дощ іде ,

S2 - дощу немає.

Можна сформулювати значення корисності кожного результату (матриця результату). Можливі 4 випадки:

A1 S1 ;      A1 S2 ;      A2 S1 ;      A2 S2

S1      S2

|    |   |   |
|----|---|---|
| A1 | 5 | 2 |
|----|---|---|

|    |   |   |
|----|---|---|
| A2 | 0 | 8 |
|----|---|---|

В умовах визначеності рішення зрозумілі.

В умовах ризику відома ймовірність того чи іншого стану 0,7 - дощ буде та 0,3 - дощу не буде.

ОПР приймає рішення, яке максимізує вигоду, на яку сподівається:

$$A1 = 0,7 \times 5 + 0,3 \times 2 = 4,1;$$

$$A2 = 0,7 \times 0 + 0,3 \times 8 = 2,4 .$$

Очікувана корисність  $A1 > A2$ .

В умовах невизначеності ймовірність станів невідома, тому ОПР вимушений використовувати різні правила і критерії, які розроблені для цих випадків.

Використовують наступні критерії:

- критерій рівної правдоподібності, тобто при відсутності іншої інформації всім подіям приписується однакова ймовірність;

- критерій мінімакса: ОПР мінімізує свої максимальні витрати;

- мінімакс моральних втрат: ОПР мінімізує свої максимальні моральні втрати;

- критерій Гурвіца: ОПР приписує суб'єктивні ваги "оптимізм", "песимізм" максимальному результату кожного вибору.

## 6.12 Поняття розмитих (нечітких) множин

Нехай  $X$  є множина елементів (об'єктів) де  $x$  являє собою породжуючий елемент  $X$ . Тоді розмита множина  $A$  у  $X$  - є множина впорядкованих пар  $\{(x, (\mu_A(x)))\}$  де  $\mu_A(x)$

називається функцією належності  $A$ , а  $\mu_A$  визначається як

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$$

$\mu_A$  - вказує ступінь належності  $x$  до розмитої множини  $A$ .

Відношення належності: розмита множина  $A$  включена у розмиту множину  $B$  ( $A \subseteq B$ ) тоді і тільки тоді, коли

$\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$  для всіх  $x$ .

Перетин розмитих множин  $A$  і  $B$  ( $A \cap B$ ) визначається як найменша розмита множина, що міститься і в  $A$ , і в  $B$ .

$$(A \cap B) = \{(x, \mu_{A \cap B}(x))\},$$

де  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \forall x$ .

Об'єднання розмитих множин  $A$  і  $B$  ( $A \cup B$ ) визначається як найбільша розмита множина, що міститься і в  $A$ , і в  $B$ .

$$(A \cup B) = \{(x, \mu_{A \cup B}(x))\},$$

де  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \forall x$ .

Операція доповнення. Розмита множина  $B$  є доповненням до  $A$  тоді і тільки тоді, коли

$$\mu_B(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x.$$

Нехай розмита множина визначається висловлюванням "високий"

$$A = \{x, \mu_A(x)\} = \{(150; 0), (160; 0.2), (170; 0.7), (180; 0.95), (185; 1)\}.$$

де  $x$  ріст у сантиметрах  $\mu_A(x)$  - значення функції належності.

Висловлювання "не високий" визначає множину  $B$ ,

$$\mu_B = 1 - \mu_A :$$

$$B = \{x, \mu_B(x)\} = \{(150; 1), (160; 0.8), (170; 0.3), (180; 0.05), (185; 0)\}.$$

Тоді висловлювання "середній"

$$A \cap B = \{(150; 0), (160; 0.2), (170; 0.3), (180; 0.05), (185; 0)\}.$$

Якби використовувався підхід звичайної двозначної логіки, то в перетині була б пуста множина.

У випадку розмитих множин у перетині є елементи, які належать в певній степені до множини "високої" і "не високої".

З цими поняттями пов'язане поняття лінгвістичної змінної, тобто змінної, значення якої представлене не числом, а висловлюванням природної або штучної мови. Так, наприклад, висота є лінгвістичною змінною, якщо її значення представляти висловлюваннями:

- високий;

- дуже високий;
- більш-менш високий;
- дуже низький;
- і т. д.

Тут значення кожного висловлювання представляє собою мітку або назву розмитої множини, яку в свою чергу можна охарактеризувати функцією належності, використати відображення множини значень росту у інтервал  $[0,1]$ .

### 6.13 Одно - і багатоцільові моделі прийняття рішень

Заключним кроком оцінки варіантів є знаходження деякої моделі прийняття рішення, в рамках якої кожному із можливих варіантів може бути подана вага. Тобто модель прийняття рішень можна представити як процедуру оцінки, яка дає можливість робити вибір між варіантами в ході планування та дослідження проблеми.

Загальна методологія побудови моделі полягає в наступних діях:

- 1) після закінчення первинних спостережень знаходяться основні змінні і параметри, які описують подію чи явище;
- 2) знаходяться найбільш сильні відношення між змінними, які вказують їх зв'язок;
- 3) встановлюються функціональні залежності між змінними;
- 4) робиться припущення стосовно виду встановлених функціональних залежностей;
- 5) на основі емпіричних даних перевіряються ці припущення;
- 6) на основі експериментальних даних оцінюються коефіцієнти функціональних залежностей, отриманих на 3-му і 4-му кроках, і будується модель, яка відображає ситуацію і пояснює явища, що спостерігаються;
- 7) використовується отримана модель для оцінки нових ситуацій.

Типи моделей прийняття рішень:

- 8) Модель компромісів - описує способи встановлення ваг і оцінки замін у засобах і цілях.
- 9) Одно і багатоцільові моделі - встановлюють оцінки і

розрахунки для вибору між складними варіантами.

10) Оптимізаційні моделі - здійснюють концепцію системи в цілому для досягнення локальних оптимумів.

11) Оціночні моделі - об'єднують версії і інформацію у глобальне рішення.

12) Пізнавальні моделі - описують можливість перевірки істинності в рамках даного методу судження.

13) Діагностичні моделі - встановлюють методи систематичного пошуку у випадку порушень нормальної роботи системи.

#### **6.13.1 Адаптивні і мультиплікативні багатомірні функції корисності**

Проблема оцінки багатомірних варіантів подібна до проблеми узагальнення суджень для отримання експертної оцінки.

Варіанти слід оцінювати по системі балів, використовуючи адаптивні та мультиплікативні функції декількох змінних, при цьому ні один варіант не може домінувати над іншим по всіх змінних, і тому, якщо один варіант має перевагу над іншим по деякій змінній, то по іншій змінній він повинен поступатися.

Узагальнена форма адаптивної моделі корисності представляється функцією (7.1):

$$U = \sum_{i=1}^N \omega_i f(x_i) \quad (7.1)$$

де  $x_i$  - міра неясності  $i$ -тої властивості або оцінка корисності, яку приписує експерт властивості у кожному варіанті, вага  $\omega_i$  - представляє відносну важливість властивості.

Мультиплікативна форма:

$$U = \prod_{i=1}^N \omega_i f(x_i) \quad (7.5)$$

де  $f(x_i)$  - функція корисності по кожній властивості.

Процедура порівняння складних багатомірних варіантів

полягає в :

- 1) формулювання задачі;
- 2) вибір факторів і під факторів;
- 3) побудова дерева розв'язків;
- 4) надання ваги факторам;
- 5) нормування ваг;
- 6) розбиття факторів на під фактори;
- 7) надання ваги під факторам;
- 8) нормування ваг під факторів;
- 9) підрахунок показників (балів) по всіх факторах для кожного варіанту;
- 10) знаходження числового представлення цінності для кожного варіанту;
- 11) множення числового представлення для кожного під фактору на відповідний нормований ваговий коефіцієнт;
- 12) отримання сумарного числового представлення цінностей по кожному варіанту.

#### **6.13.2 Приклад. Оцінка діяльності професорсько-викладацького складу**

**Крок 1.** Вибір і призначення факторів. Побудова дерева рішень.

У будь-якій багатомірній задачі першим кроком є визначення факторів, по яких здійснюється порівняння різних варіантів. Ці фактори або властивості повинні бути представлені у вигляді дерева розв'язку або ієрархії критеріїв.

Фактори:

- 1) викладацька діяльність;
- 2) наукова діяльність;
- 3) суспільна діяльність;
- 4) психологічна сумісність з студентами та колегами.

Вони представлені на рисунку 6.13.

|                           |                                                   |                                                          |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1 Викладацька діяльність  | 1.1 По оцінці студентів                           | 1.1.1 Стандартні анкети                                  |
|                           |                                                   | 1.1.2 Із слів студентів                                  |
|                           | 1.2 По оцінці колег                               | 1.1.3 Із слів інших осіб                                 |
|                           |                                                   | 1.2.1 Із слів зав.кафедрою                               |
| 2 Наукова діяльність      | 2.1 Дослідна робота і консультації                | 1.2.2 Із слів колег                                      |
|                           |                                                   | 2.1.1 Авторитетність замовника                           |
|                           |                                                   | 2.1.2 Розмір субсидій                                    |
|                           |                                                   | 2.1.3 Тривалість роботи по контракту                     |
|                           | 2.2 Публікації                                    | 2.1.4 Кількість працівників                              |
|                           |                                                   | 2.2.1 Наукова вага видання                               |
|                           | 2.3 Діяльність у наукових організаціях            | 2.2.2 Кількість посилань на роботу                       |
|                           |                                                   | 2.3.1 Доповіді на конференціях                           |
|                           |                                                   | 2.3.2 Інші доповіді                                      |
|                           |                                                   | 2.3.3 Посади у наукових організаціях                     |
| 3. Суспільна діяльність   | 3.1 Робота на факультеті                          | 2.3.4 Участь в організації конференцій                   |
|                           |                                                   | 3.1.1 Об'єм методичної роботи                            |
|                           | 3.2 Діяльність на загальноуніверситетському рівні | 3.1.2 Розробка програми                                  |
|                           |                                                   | 3.2.1 Робота у радах                                     |
|                           | 3.3 Робота з суспільними організаціями            | 3.2.2 Успіхи у розробці програм                          |
|                           |                                                   | 3.3.1 Діяльність, направлена на досягнення мети навчання |
| 4 Психологічна сумісність | 4.1 Зі студентами                                 | 3.3.2 Інша суспільна діяльність                          |
|                           | 4.2 З колегами                                    |                                                          |

Рисунок 6.13 - Основні фактори та під фактори оцінки діяльності професорсько-викладацького складу  
**Крок 2.** Призначення ваги факторам. ОПР ( в даному

випадку колеги або студенти) надає відносну вагу кожному головному фактору та під факторам.

« 1 » - 0,4 ; « 2 » - 0,3 ; « 3 » - 0,15 ; « 4 » - 0,15

1.1 - 0,5 : 1.1.1 - 0,5 ; 1.1.2 - 0,25 ; 1.1.3 - 0,25

1.2 - 0,5 : 1.2.1 - 0,3 ; 1.2.2 - 0,7

2.1 - 0,25 ; 2.2 - 0,5 ; 2.3 - 0,25

**Крок 3.** Нормування ваг, полягає в множенні отриманих ваг кожного фактора і ваг під факторів цього фактора. Результатом є вага кожного під фактора. Частину даного процесу показано на рисунку 6.14.

| 1 Викладацька діяльність - 0,4  |   | нормування                |
|---------------------------------|---|---------------------------|
| 1.1 Оцінка студентами - 0,5     |   | $0,4 * 0,5 = 0,2$         |
| 1.1.1 Стандартні анкети - 0,5   | ] | $0,4 * 0,5 * 0,5 = 0,1$   |
| 1.1.2 Із слів студентів - 0,25  |   | $0,4 * 0,5 * 0,25 = 0,05$ |
| 1.1.3 Зі слів інших осіб - 0,25 |   | $0,4 * 0,5 * 0,25 = 0,05$ |
|                                 | 1 | 0,2                       |
| 1.2 Оцінка колег - 0,5          |   | $0,5 * 0,4 = 0,2$         |
| 1.2.1 Зі слів завкфедрою - 0,3  | ] | $0,5 * 0,4 * 0,3 = 0,06$  |
| 1.2.2 Зі слів колег - 0,7       |   | $0,5 * 0,4 * 0,7 = 0,14$  |
|                                 | 1 | 0,2                       |

Рисунок 6.14 - Один з кроків процесу нормування

## 6.14 Управління

Н. Віннер розробив математичну теорію, яка показала, що управління системами залежить від наявної інформації.

Замкнуті системи при функціонуванні прагнуть до стану рівноваги, де максимальна ентропія.

У відкритих системах ця тенденція може бути ліквідована шляхом надання системі негентропії або інформації.

Стан динамічної рівноваги відкритих систем називається гомеостазом.

Стійкий стан рівноваги досягається завдяки від'ємному зворотному зв'язку.

Процес вводу енергії в систему і процес обробки інформації мають своєю метою зупинити перехід до стану з більш високою ентропією.

Цей процес можна розглядати, як спробу системи досягнути стану рівноваги та зберегти його, тобто знаходячись на так званому гомеокінетичному плато.

Виходячи з цього, управління може бути визначене, як внутрішня функція системи, направлена на утримання її на гомеокінетичному плато на протязі максимально можливого часу. Дане визначення можна умовно представити графіком на рисунку 6.15.



Рисунок 6.15 – Залежність стану системи від наявної інформації

Кібернетичною моделлю управління організаційної системи є основний цикл управління.

Вивчення основних функцій, які реалізують управління, дає можливість зробити оцінку ролі цих функцій у системі (рис. 6.16).

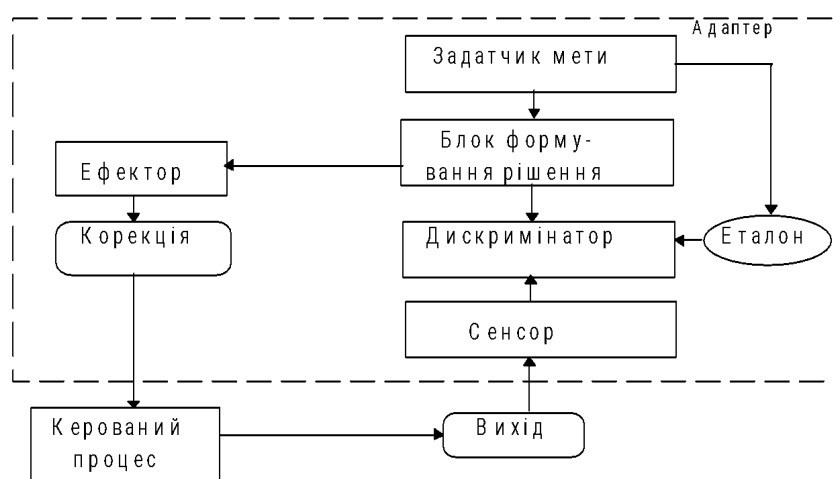


Рис. 7.16 - Система управління

Рисунок 7.16 - Система управління

### 6.15 Алгоритм Клі

Клі застосував на практиці лінійну адитивну модель багатомірної функції корисності, розробивши процедуру, яку не так вже й складно використовувати; крім того, ця процедура дозволяє обійти деякі методологічні труднощі. Модель має вид:

$$U_j = \sum_{i=1}^N \omega_i f_i(u_{ji}), \quad (7.6)$$

де  $U_j$  - функція корисності для варіанту  $j$  при  $j=1, 2, 3, \dots, M$ ;  $\omega_i$  - вага фактора  $i$  при  $i=1, 2, 3, \dots, N$ ,  $f_i(u_{ji})$  - оцінка корисності для варіанту  $j$  по параметру  $i$ .

Клі застосував цей алгоритм в деяких областях, які мають відношення до оточуючого середовища. Ми проілюструємо алгоритм Клі на прикладі вибору місця для

парку в басейні річки. Спочатку визначимо ієрархію критеріїв, які в даному випадку складаються з трьох головних факторів і відповідних під факторів:

1) Інженерно-технічні фактори:

- рівень поверхні води,
- потужність водозбірного пласту.

2) Використання в якості місця відпочинку:

- доступність,
- відстань від залізної дороги.

3) Вплив на сусідні території:

- кількість власників ділянок,
- вплив на сільське господарство.

#### **Крок 1. Вивід ваги факторів**

Такий висновок може бути зроблений парним порівнянням параметрів, що дасть можливість отримати оцінки їх відносної ваги. Порівняння може бути проведене з використанням  $(n \times n)$  - матриці, в якій 1 або 0 ставляться в рядку  $i$  та стовпчику  $j$ , в залежності від переваги фактора  $i$  у порівнянні з фактором  $j$ . Повне "число балів", отримане таким чином, є сума кліток з нулями або одиницями для кожного рядка. Повна сума всіх одиниць і нулів може бути використана для нормалізації результатів по кожному рядку з тим, щоб їх сума була рівна 1, тобто  $\sum \omega_{ij} = 1,0$ .

Інший метод отримання факторів, який належить Клі, полягає в призначенні відношень важливості і визначенні множників (таблиця 6.4).

Починаємо зверху: відношення  $r = 2.3$  являє собою множник, на який повинна бути помножена важливість фактору "потужність водозабірний пласту" для отримання важливості фактору "рівень поверхні води". Значення  $r = 4.0$  являє собою співвідношення

$$\frac{\text{Важливість фактору "доступність"}}{\text{Важливість фактору "відстань від залізної дороги"}} = 4.0$$

Починаючи знизу, записуємо в таблицю останній множник  $k=1.0$ , а наступний множник розраховуємо так:

множник для другого рядку знизу є результатом добутку  $k_{i1}=1,0 \times 2,0=2,0$ . Наступний множник рівний  $2,0 \times 0,7=1,4$  і т. д. Потім множники сумуються (їх сума рівна 19,2). Ваги отримують нормалізацією множників таким чином, щоб сума ваг була рівна 1 (див. останню графу в таблиці).

Крок 2. Перевірка ваг факторів на не протиріччя.

Фактори записують в порядку спадання їх ваг, як це зроблено в таблиці 7.5. Ваги сумуються від останнього плюс кумулятивна вага вище рядком плюс вага поруч і так вгору, починаючи знизу таблиці, де вага останнього фактору  $s_1$  рівна вазі останнього фактору  $\omega_i$ . Варто зауважити, що остання вага  $s_i$  знаходиться на передостанньому рядку.

Таблиця 6.4 - Призначення відношень і визначення множників

| Параметр чи фактор             | Відношення $r_i$ | Множник $k_i$ | Нормалізована вага $\omega_i$ |
|--------------------------------|------------------|---------------|-------------------------------|
| Рівень поверхні води           | 2.3              | 6.4           | 0.34                          |
| Потужність водозабору          | 0.5              | 2.8           | 0.15                          |
| Доступність                    | 4.0              | 5.6           | 0.29                          |
| Відстань від залізної дороги   | 0.7              | 1.4           | 0.07                          |
| Кількість власників ділянол    | 2.0              | 2.0           | 0.10                          |
| Вплив на сільське господарство | -                | 1.0//19.2     | 0.05//1.0                     |

Таблиця 7.5 - Обрахунок кумулятивної ваги для перевірки ваг факторів на не протиріччя

| Параметр чи фактор             | Вага<br>$\omega_i$ | Кумулятивна<br>вага $c_i$ |
|--------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Рівень поверхні води           | 0,34               | 0,66                      |
| Доступність                    | 0,29               | 0,37                      |
| Потужність водозабору          | 0,15               | 0,22                      |
| Кількість власників ділянок    | 0,10               | 0,12                      |
| Відстань від залізної дороги   | 0,07               | 0,05                      |
| Вплив на сільське господарство | 0,05               | -                         |

Наступний фактор рівний  $0,05+0,07=1,2$  і т. д. Перевірка на непротиворечивість виконується порівнянням ваг  $\omega_i$  з сусідніми вагами  $c_i$ . Вона полягає у виявленні того, чи згідний "консультант" з тим, що фактор з вагою  $\omega_i=0,34$  менш важливий, ніж сусідній фактор з вагою  $c_i=0,66$ , який є сумою ваг решти факторів. Наступна вага  $\omega_i=0,29$  також показує, що фактор "доступність" менш важливий, ніж сума решти чотирьох факторів, тому що  $\omega_i < c_i$  ( $0,29 < 0,37$ ). Для фактору "відстань до залізної дороги" вага  $\omega_i > c_i$ , що вказує на те, що цей фактор більш важливий, ніж фактор "вплив на сільське господарство". Якщо приведені оцінки не співпадають з оціночними судженнями "консультанта" потрібно підкоректувати вихідні відношення, на основі яких отримані результати, наведені в таблиці.

**Крок 3.** Виведення оцінок корисності для кожного фактору і кожного варіанту

Процедура виведення оцінок корисності, чи приписування балів, аналогічна процедурі, яка використовувалася на кроці 1 для розрахунку ваг факторів. Таблиця 6.6, де символами NW, NE і SE позначені ділянки місцевості, що розглядаються, показує виконання порівняння.

Таблиця 6.6 - Оцінка окремих параметрів і варіантів

| Параметри чи фактори              | Відношення оціночних балів корисності | Множник | Нормалізовані оціночні бали корисності |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------|----------------------------------------|
| 1. Рівень поверхні води           |                                       |         |                                        |
| NW                                | 1,4                                   | 1,4     | 0,40                                   |
| NE                                | 1,0                                   | 1,0     | 0,30                                   |
| SE                                | -                                     | 1,0/3,4 | 0,30/1,00                              |
| 2.Потужність водозабірною пласту  |                                       |         |                                        |
| NW                                | 1,1                                   | 1,0     | 0,34                                   |
| NE                                | 0,9                                   | 0,9     | 0,32                                   |
| SE                                | -                                     | 1,0/2,9 | 0,34/1,00                              |
| 3. Доступність                    |                                       |         |                                        |
| NW                                | 0,3                                   | 0,7     | 0,18                                   |
| NE                                | 2,2                                   | 2,2     | 0,56                                   |
| SE                                | -                                     | 1,0/3,9 | 0,26/1,00                              |
| 4. Відстань від залізної дороги   |                                       |         |                                        |
| NW                                | 1,3                                   | 1,8     | 0,43                                   |
| NE                                | 1,4                                   | 1,4     | 0,33                                   |
| SE                                | -                                     | 1,0/4,2 | 0,24/1,00                              |
| 5. Кількість власників ділянок    |                                       |         |                                        |
| NW                                | 1,0                                   | 1,4     | 0,37                                   |
| NE                                | 1,4                                   | 1,4     | 0,37                                   |
| SE                                | -                                     | 1,0/3,8 | 0,26/1,00                              |
| 6. Вплив на сільське господарство |                                       |         |                                        |
| NW                                | 0,4                                   | 0,4     | 0,17                                   |
| NE                                | 0,9                                   | 0,9     | 0,39                                   |
| SE                                | -                                     | 1,0/2,3 | 0,44/1,00                              |

Як і вище, відношення оцінок корисності, виражених в балах, є результатами порівняння таких оцінок по варіантах для конкретного параметру, що розглядається. Таким чином,

оцінка функції корисності для варіанту NW по фактору "рівень поверхні води" вважається в 1,4 рази більш важливою, ніж оцінка функції корисності для варіанту NE по тому ж фактору або параметру. Всі відношення, множники і нормалізовані ваги отримані так, як було описано вище.

Важливо відмітити, що оціночні бали корисності повинні бути отримані з функції корисності. Бали оцінки корисності приймають значення від 0 до 1 і є безрозмірними величинами; ця особливість дозволяє обійти проблему сумування оцінок з різною розмірністю. Через те, що ці величини безрозмірні, повні оціночні бали можуть сумуватися. Функції корисності не обов'язково повинні бути лінійними.

**Крок 4.** Обрахунок повних зважених оціночних балів

Повні оціночні бали отримують множенням нормалізованих ваг факторів на нормалізовані оціночні бали корисності по кожному фактору для кожного варіанту (таблиця 6.7). Результати показують, що варіанти повинні бути розташовані в порядку спадання їх оцінок наступним чином:

$$NE > NW > SE.$$

Як було відмічено результати повинні бути тільки порядковими числами. Так як були проведені перевірки на непротивіччя рангування, а оціночні бали безрозмірні, результати не можуть бути кількісними числами. Такого ж впорядкування варіантів можна було добитися, якщо б ми вирішували цю задачу не з застосуванням алгоритму Клі, а з залученням загальної процедури порівняння. При цьому необхідно врахування наступних умов: а) обрахунок ваг факторів і під факторів повинен виконуватися виходячи з тих же вихідних передумов; б) потрібно застосовувати ті ж самі перевірки на непротивіччя при рангуванні факторів, під факторів, а також оціночних балів функції корисності; в) в обох процедурах потрібно використати одні і ті ж функції корисності.

Таблиця 7.7 - Обрахунок зважених оціночних балів корисності для трьох варіантів з використанням алгоритму Клі

| Фактор                            | Нормалізована вага $\omega_i$ | Варіанти                               |                       |                                        |                       |                                        |                       |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------|
|                                   |                               | NW                                     |                       | NE                                     |                       | SE                                     |                       |
|                                   |                               | Нормалізовані оціночні бали корисності | Зважені оціночні бали | Нормалізовані оціночні бали корисності | Зважені оціночні бали | Нормалізовані оціночні бали корисності | Зважені оціночні бали |
| 1.Рівень води                     | 0,34                          | 0,40                                   | 0,136                 | 0,30                                   | 0,102                 | 0,30                                   | 0,102                 |
| 2. Потужність водозабірної пласту | 0,15                          | 0,34                                   | 0,051                 | 0,32                                   | 0,048                 | 0,34                                   | 0,051                 |
| 3.Доступність                     | 0,29                          | 0,18                                   | 0,052                 | 0,56                                   | 0,162                 | 0,26                                   | 0,075                 |
| 4.Відстань до залізної дороги     | 0,07                          | 0,43                                   | 0,030                 | 0,33                                   | 0,023                 | 0,024                                  | 0,017                 |
| 5.Кількість власників ділянок     | 0,10                          | 0,37                                   | 0,037                 | 0,37                                   | 0,037                 | 0,26                                   | 0,026                 |
| 6. Вплив на сільське господарство | 0,05                          | 0,17                                   | 0,009                 | 0,39                                   | 0,020                 | 0,44                                   | 0,022                 |
| Сумарні оцінки                    |                               | $U_{NW}=0.315$                         |                       | $U_{NE}=0.392$                         |                       | $U_{SE}=0.293$                         |                       |

## 6.16 Контрольні запитання до шостого розділу

1. Поняття мети і цілеспрямованої поведінки?
2. Ієрархія у теорії систем?
3. Процес прийняття рішень?
4. Взаємозв'язок потреб і прагнень?
5. Необхідність аналізу світогляду ОПР?
6. Приклад: система карного діловодства?
7. Цикл прийняття рішень?
8. Етапи процесу проектування систем?
9. Що таке системна парадигма?
10. Цілі, пріоритети, компроміси?
11. Поняття кількісних визначень і вимірів?
12. Виміри – загальні поняття?
13. Типи шкал вимірів
14. Вимір, як ієрархія моделей?
15. Проблеми вимірів?
16. Визначеність, ризик, невизначеність і неясність?
17. Одно - і багатоцільові моделі прийняття рішень?
18. Адаптивні і мультиплікативні багатомірні функції корисності?
19. Недоліки і переваги проектування систем?

## 20. Алгоритм Клі?

## ПІСЛЯМОВА

У природі існують природні і штучні об'єкти яким властива унікальні властивості слабопередбаченість і цілеспрямована поведінка. Феноменальні властивості цих об'єктів, що полягають із сполучених між собою строго детермінованих «простих» елементів ( $S_1$ -систем), пов'язані із здатністю об'єктів запам'ятовувати зовнішні дії за допомогою внутрішніх контурів зворотного зв'язку і зіставляти нові дії з накопиченими. Такі об'єкти називаються «Складними системами» ( $S_0$ -системи). Їх світ - імовірно-детермінований.

$S_0$ -системи характеризуються фізичною вірогідністю - внутрішньою тенденцією поведінки, яка в процесі взаємодії системи з середовищем виявляється випадковим чином.  $S_0$ -системи підкоряються принципам, що впливають з фізичних законів, і можуть бути описані детермінованими математичними співвідношеннями, їх імовірна поведінка породжується нелінійністю, великим числом мір свободи і пам'яттю. У  $S_1$ -системах фізична вірогідність через взаємне обмеження елементів переходить в детермінізм; у  $S_2$ -системах - у стохізм. Фізична вірогідність є визначальним чинником розвитку неживої і живої природи.

Процеси, що протікають в  $S_0$ -системах, є нерівноважними, незворотними, залежними від передісторії. Це безперервні гомеостатичні процеси (системний гомеостаз), через які  $S_0$ -системи динамічні - безперервно змінюють своє, стан, причому кожне подальший стан враховує досвід попереднього. Таким чином,  $S_0$ -системи або розвиваються, або деградують (можливий розвиток в одному напрямі і деградація в іншому). Дослідження складних систем також гомеостатичний процес.

За допомогою накладення додаткових зв'язків  $S_0$ -система може бути перетворена (принаймні тимчасово) в  $S_{1,2}$ -систему, що піддається управлінню.

$S_0$ -системи характеризуються ефективністю - головним інваріантом дії. Через свої властивості  $S_0$ -системи можуть здійснювати цілеспрямований вибір поведінки відповідно до внутрішнього критерію ефективності, який, взагалі кажучи, може бути ситуаційним.

Управління  $S_0$ -системами може бути програмним, ситуаційним, адаптивним, рефлексією і здійснюватися з метою підвищення ефективності.

Метод системотехніки полягає в обґрунтуванні і створенні гомеостатичної моделі системи (проблеми) адекватною інтересам дослідника (користувача), і дослідженні з метою виявлення зв'язків, що дозволяють відповідним чином орієнтувати цільову функцію, поведінку і використання системи з максимальною ефективністю.

Застосування методів системотехніки до ергатичних систем і до розробки об'єктів техносфери дозволяє визначити зовнішні зв'язки, за допомогою яких можна здійснювати прогноз і вирішувати цільові проблеми.

Ймовірно, науковою проблемою ХХІ століття стане проблема організації неживої і живої матерії. Між фізичними законами існують протиріччя. Безроздільне панування закону зростання ентропії ослабляє свої позиції: діалектична неповнота цього закону і численність накопичених фактів укріплюють переконаність в існуванні ще одного закону - підвищення рівня організації. Дію організуючої тенденції ми спостерігаємо в природі, проте її кількісне єство (без якої немає фізичного закону) залишається нерозкритим. Системна методологія і концепція системотехніки допоможуть знайти дорогу до відкриття цього фундаментального закону, який, можливо, розширить наш погляд на світ.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дружинин В.В, Конторов Д.С. Системотехника М.: Радио и связь. 1985.- 200с.
2. Гиг Дж. Прикладная общая теория систем: Перевод с англ. - М: Мир, 1981, 733 с.
3. Мочанов А.А Моделирование и проектирование сложных систем. -К.: Вища школа, головное изд-во, 1988.-359 с.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. -М.: Мир, 1984.- 264 с.
5. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента (А.Е.Егоров, Г.Н. Азаров; Под ред. В.Г. Воронова, - Х.: Вища школа, 1986, - 240 с.
6. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.А. Введение в системный анализ: Учебное пособие (Под ред. Петросяна Л.А. , Л.6 Изд-во Ленинградского у-та, 1988.- 232 с.
7. Захаров В.Н. и др. Системы управления. Задания. Проектирование. Реализация. - М.: Энергия, 1977. - 422 с.
8. Богданов А.А Тектология (всеобщая организационная наука). В 2-х книгах. М.: - Экономика, 1989, -324 с.
9. Мулен Э. Корпаративное принятие решений. Аксиомы и модели: Пер. С англ., - М.: Мир, 1991 - 464 с.
10. Теория систем. Математические методы и моделирование. Сборник статей. Пер. С англ. - М.: Мир, 1989. - 364 с.
11. Управление ГПС.: Модели и алгоритмы (Под ред. С.В. Емельянова.- М.: Машиностроение, 1987 - 368 с.
12. Грем Р.Г., Грей К.ф, Руководство по операционным играм (Перевод с англ. - М.: Мир, 1991, - 464 с.
13. Саркисян С.А., Каспин В.И., Лисичкин В.А. Теория прогнозирования и принятия решений. М., «Высшая школа», 1977 – 351 с. с ил.
14. Понамаренко О.І., Понамаренко В.О. Системні методи в економіці, менеджменті та бізнесі. К. – Либідь, 1995. – 240 с.